

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**БАНДУРКА ОЛЕНА ІВАНІВНА**

УДК 004.94:630

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**МЕТОДИ І АЛГОРИТМИ АНАЛІЗУ ГЕОДАНИХ ДЛЯ РІШЕННЯ  
ЗАДАЧІ ОЦІНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ**

121 – Інженерія програмного забезпечення

12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня  
доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ О.І. Бандурка

Наукові керівники:  
БАРАБАШ Олег Володимирович,  
доктор технічних наук, професор  
ШПУРИК Вадим Вадимович  
кандидат технічних наук, доцент

КИЇВ – 2023

## АНОТАЦІЯ

**Бандурка О. І.** Методи і алгоритми аналізу геоданих для рішення задачі оцінки антропогенного впливу на довкілля. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2023.

Дисертаційна робота присвячена розробці науково-методичного апарату прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі в інтеграції з геододатками для підтримки управлінських рішень.

Людська діяльність за останні десятиріччя призвела до катастрофічних наслідків, які проявляються в незворотних процесах, що роблять навколишнє середовище непридатним до життя. Негативний антропогенний вплив має глобальні наслідки, такі як зміна клімату внаслідок зміни балансу газів в атмосфері, забруднення ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами, радіоактивними речовинами, вирубка лісів, яка сягає катастрофічних планетарних масштабів. Але найбільшою техногенною катастрофою є масштабні лісові пожежі.

Щороку внаслідок пожеж знищуються сотні тисяч гектарів лісового фонду. Статистика лісових пожеж по всьому світу і зокрема, в Україні, дозволяє зробити висновок, що причиною лісових пожеж (75-80 %) є антропогенний фактор. Саме тому, загальне завдання прогнозування лісових пожеж з застосуванням засобів сучасних інформаційних технологій для зниження негативних наслідків лісових пожеж на сьогодні є актуальним.

Метою дисертації є підвищення ефективності (оперативності та достовірності) обробки геоданих для мінімізації ризиків виникнення лісових

пожеж на основі статистичної моделі Байєса для підтримки управлінських рішень.

Екологічне прогнозування, зокрема передбачення подій в лісових екосистемах, ґрунтується на статистичних даних. Заходи по попередженню та нейтралізації лісових пожеж вимагають створення складних математичних моделей, що включає проведення моніторингу, передбачає моделювання задач, що є неструктурованими та потребує застосування сучасних інформаційних технологій.

Дослідження існуючих науково-обґрунтованих підходів в аналізі геоданих для рішення задач оцінки антропогенного впливу на довкілля та, безпосередньо, пов'язаних з розробкою методів та моделей дослідження лісових пожеж, дозволили зробити висновок про формування, за останні роки, нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням інформаційним системам модульності, універсальності, можливості обробки великих об'ємів статистичних даних та проведення складних розрахунків. Проблеми моделювання лісових пожеж розглянуті в роботах С.Ю. Антонова, Ю.А. Абрамова, Д.С. Воробйова, А.Є. Басманова, Г.А. Доррера, А.Н. Дигала, Л.М. Куценка, А.А. Тарасенка. Розробці геоінформаційних систем присвячені роботи Х.М. Бурштинської, О.В. Барабаша, І.Л. Долинської, В.В. Шпурика, С.С. Кохан, Г.А. Кучука, Г.В. Худова., В.В. Гнатушенка, Я.В. Шидловської, О.В.Коваля, І.В. Рубана та зарубіжних вчених Grégoire J-M., Pinnock S., Jones P.D., Moberg A, C. Donald Ahrens та інших.

Отже, у сучасних умовах важливим завданням є мінімізації ризиків виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса для підтримки управлінських рішень. Це складне завдання доцільно поділити на ряд часткових завдань, одним з яких є створення математичної моделі прогнозування виникнення лісових пожеж. Існуючі фізико-математичні моделі дослідження розповсюдження та нейтралізації лісових пожеж розглядають наслідки розповсюдження пожежі, а не самі причини виникнення. Теоретичні моделі засновані на фундаментальних фізико-математичних та хімічних

законах, але верифікація таких моделей досить складна. Статистичні моделі використовують лише статистичні дані. Напівемпіричні моделі застосовують загальні фізичні закони у вигляді спрощених залежностей. Проте завдяки автоматизованим системам, які вміщують математичний апарат, відбувається спрощення моделей.

Дисертаційна робота виконана відповідно з поточними та перспективними планами наукової та науково-технічної діяльності Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і є частиною досліджень в рамках науково-дослідних робіт:

- «Теоретико-методичні основи аналізу ризику в контексті розробки механізмів захисту критичної енергетичної структури в Україні» (Державний реєстраційний номер № 0117U006080, м. Київ);

- «Управління ризиками сталого розвитку території з використанням методів штучного інтелекту» (Державний реєстраційний номер № 0120U105256, м. Київ).

Особисто автором в НДР №0117U006080 запропоновано метод визначення територій, уражених пожежами, на основі космічних знімків; в НДР №0120U105256 розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному.

Вперше розроблено архітектуру програмного забезпечення системи прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка відрізняється від існуючих використанням математичної моделі оцінки впливу температури навколишнього середовища на імовірність виникнення лісових пожеж, методу дешифрування супутникових знімків та математичної моделі прогнозування виникнення лісових пожеж. Використання зазначеного програмного забезпечення дозволяє розробити інформаційну систему прогнозування лісових пожеж.

Вперше розроблено математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на ймовірність виникнення лісових пожеж, яка

базується на аналізі довгострокового періоду кліматичних статистичних даних, за допомогою Data Science. Модель дозволяє проводити дослідження впливу глобальних змін температури на виникнення лісових пожеж.

Удосконалено метод дешифрування супутникових знімків для ідентифікації пожежонебезпечних місць та визначення територій, уражених пожежами, яка заснована на спектральному аналізі температур яскравості. Зазначений метод при дешифруванні дозволяє виключити із знімків фрагменти, які покриті хмарами та зайняті водними об'єктами для встановлення просторово-часових характеристик пожеж. Реалізація даного методу також дозволить встановити території, уражені пожежами, та визначити їх клас пожежної небезпеки.

Вперше розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка заснована на оцінюванні апостеріорних імовірностей таксаційних характеристик лісових виділів. Зазначена математична модель є основою для розробки програмного забезпечення прогнозування виникнення лісових пожеж та підвищує точність оцінювання зазначених апостеріорних імовірностей в середньому на 12-18 %.

Удосконалено методику оцінки наслідків пожеж за даними дистанційного зондування Землі, яка на відміну від існуючих, адаптована на обробку знімків низької роздільної здатності та базується на встановленні пожежного індексу. Реалізація зазначеної методики дозволить підвищити точність оцінювання породного складу та площ уражених ділянок лісових угідь в середньому на 8-12 %, а також підвищити оперативність вирішення завдань у порівнянні з традиційними методиками у 25-30 разів.

Створено інформаційну базу даних на основі керованої класифікації знімків, що дозволяє встановлювати породний склад деревних насаджень та підготовлювати знімки для подальшої обробки.

Оброблені космічні знімки забезпечують широке охоплення лісових угідь, високу точність результатів, адже об'єктивна і своєчасна інформація моніторингу лісових насаджень необхідна для вирішення широкого класу

прикладних завдань. Розроблений метод ідентифікації лісових пожеж допомагає виявляти їх на початковій стадії і приймати оперативні рішення, що сприяє подальшому оцінюванню наслідків пожеж. Створена база даних, що входить до функціоналу системи, не лише зберігає необхідну інформацію, але й дозволяє витягувати її за необхідності. Головною перевагою є те, що в ній зберігаються космічні знімки формату GeoTIFF і вона дає можливість структурувати їх.

Зокрема, запропонована статистична модель Байєса та дешифрування космічних знімків підвищили достовірність запропонованих альтернативних рішень при прогнозуванні ризиків виникнення лісових пожеж. Це дозволяє підвищити ефективність (оперативність та достовірність) роботи компетентних органів, які спеціалізуються на нейтралізації наслідків пожеж.

За результатами моделювання на основі використання статистичної моделі Байєса досягнуто підвищення точності прогнозування виникнення лісових пожеж, що забезпечує надійність вирішення надзвичайних ситуацій та підвищує достовірність прийняття управлінських рішень за рахунок створеного програмного комплексу в процесі виникнення катастрофічних ситуацій, спричинених лісовими пожежами.

Наукові результати досліджень є внеском у розвиток теоретичних і прикладних основ розроблення й дослідження науково-методичного апарату з розробки моделей та методів прогнозування виникнення лісових пожеж.

Перспективними шляхами подальших досліджень є розробка нових та удосконалення існуючих методик для мінімізації ризиків виникнення лісових пожеж на основі використання систем підтримки прийняття рішень.

**Ключові слова:** інформаційна система, інформаційна технологія, стійкість системи, архітектура програмного забезпечення, сценарії побудови системи, розподілені бази даних, алгоритм, лісові пожежі, геодані, антропогенний вплив, математичне моделювання, імовірнісні оцінки, теорема Байєса.

## ANOTATION

***Bandurka O.I.*** The methods and algorithms of geodata analysis for solving the problem of assessing the human impact on the environment. – Qualifying scientific work, the manuscript.

PhD thesis in the field of knowledge 12 Information technologies in a specialty 121 Software engineering. – National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”, Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to the development of a scientific and methodological apparatus for forecasting the occurrence of forest fires based on a statistical model in integration with geo-applications to support management decisions.

Human activity in recent decades has led to catastrophic consequences, which are manifested in irreversible processes that make the environment unfit for life. Negative anthropogenic impact has global consequences, such as gradual climate change due to changes in the balance of gases in the atmosphere, destruction of the ozone layer, pollution of the World Ocean with heavy metals, oil products, radioactive substances, depletion and depletion of natural resources, deforestation reaching catastrophic planetary scales, accumulation of household waste and industrial waste, deforestation, which reaches a catastrophic planetary scale. But the biggest man-made disaster is large-scale forest fires.

Hundreds of thousands of hectares of forest are destroyed every year as a result of fires. The statistics of forest fires around the world, and in particular, in Ukraine, allow us to conclude that the cause of forest fires (75-80%) is an anthropogenic factor. That is why the general task of forecasting forest fires, as well as the development and implementation of measures to reduce the negative consequences of forest fires, is relevant today.

The aim of the dissertation is to increase the efficiency of geodata processing to minimize the risks of forest fires based on the Bayesian statistical model to support management decisions.

Among the mathematical models aimed at predicting events, an important place is occupied by predictive models, which are used both to assess the current state of natural ecological systems and to predict the dynamics of anthropogenic influence, which leads to negative consequences (deforestation, fires, floods, etc.). The main task of predictive models is to determine the outcome of events. Ecological forecasting, in particular the prediction of events in forest ecosystems, is based on statistical data. Ecological forecasts include a large number of characteristics, both biotic, abiotic and statistical by year, which make it possible to predict the state of the system as a whole as accurately as possible or to identify a potential threat in the future.

The study of existing science-based approaches in the analysis of geodata to solve the problems of assessing anthropogenic impact on the environment and, directly, related to the development of methods and models for the study of forest fires, allowed us to conclude on the formation, in recent years, of a new priority approach related to providing information systems with modularity, versatility, the ability to process large volumes of statistical data and perform complex calculations. The following works are devoted to the development of geoinformation systems: H.M. Burshtynska, O.V. Barabasha, I.L. Dolynska, V.V. Shpuryka, S.S. Kohana, G.A. Kuchuka, G.V. Khudova, V.V. Hnatushchenko, Ya.V. Shidlovskaya, N.M. Kosul, O.V. Koval and foreign scientists Grégoire J-M., Pinnock S., Jones P.D., Moberg A, C. Donald Ahrens and others.

Therefore, in modern conditions, an important task is to minimize the risks of forest fires on the basis of the Bayesian statistical model to support management decisions. It is advisable to divide this complex task into a number of partial tasks, one of which is the creation of a mathematical model for forecasting the occurrence of forest fires. Existing physico-mathematical models for the study of the spread and neutralization of forest fires consider the consequences of fire spread, and not the causes themselves. Most models have certain disadvantages that prevent them from being universal. However, thanks to automated systems that include mathematical apparatus, the models are simplified.



The dissertation work was carried out in accordance with the current and prospective plans of scientific and scientific and technical activities of the National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute" and is a part of research within the framework of research works:

- "Theoretical and methodological bases of risk analysis in the context of the development of mechanisms for the protection of the critical energy structure in Ukraine" (State registration number 0117U006080, Kyiv);
- "Management of risks of sustainable development of the territory using artificial intelligence methods" (State registration number 0120U105256, Kyiv).

The author personally proposed a method of determining areas affected by fires based on space images in GDR No. 0117U006080; in GDR No. 0120U105256, a mathematical model for forecasting the occurrence of forest fires was developed based on the Bayesian statistical model.

The scientific novelty of the obtained results is as follows.

For the first time, the software architecture of the forest fire forecasting system based on the Bayesian statistical model was developed, which differs from the existing ones by using a mathematical model for assessing the effect of environmental temperature on the probability of forest fires, a method for deciphering satellite images, and a mathematical model for forecasting the occurrence of forest fires. Using the specified software allows you to develop an information system for forecasting forest fires.

For the first time, a mathematical model for assessing the impact of ambient temperature on the probability of forest fires has been developed, which is based on the analysis of long-term climatic statistical data using Data Science. The model makes it possible to study the influence of global temperature changes on the occurrence of forest fires.

The method of deciphering satellite images for identifying fire-hazardous places and determining areas affected by fires, which is based on the spectral analysis of brightness temperatures, has been improved. The specified method during decoding allows to exclude from the images fragments that are covered by clouds and occupied

by water bodies to establish spatio-temporal characteristics of fires. The implementation of this method will also make it possible to establish areas affected by fires and determine their fire hazard class.

For the first time, a mathematical model for forecasting the occurrence of forest fires was developed based on the Bayesian statistical model, which is based on the assessment of posterior probabilities of the taxa characteristics of forest allocations. The specified mathematical model is the basis for the development of software for forecasting the occurrence of forest fires and increases the accuracy of estimating the specified posterior probabilities by 12-18% on average.

The method of assessing the consequences of fires based on the data of remote sensing of the Earth has been improved, which, unlike the existing ones, is adapted to the processing of low-resolution images and is based on the establishment of the fire index. The implementation of the specified method will allow to increase the accuracy of the assessment of the species composition and the area of the affected areas of forest lands by an average of 8-12%, as well as to increase the efficiency of solving tasks by 25-30 times compared to traditional methods.

The practical significance of the obtained results lies in their application for planning measures aimed at reducing the risk of catastrophic forest fires and normalizing the fire situation in the affected areas. The developed scientific and methodical apparatus for forest fire forecasting can also be used for accounting and inventorying of forests, creating forest maps, and conducting one's own assessment of information by comparing it with official data of and the State Forest Resources Agency.

An information database has been created based on the controlled classification of images, which allows establishing the species composition of tree stands and preparing images for further processing. It was established that 70% of the forests are pine, aspen, hornbeam, birch, alder and ash tree species are found in smaller quantities.

Processed space images provide a wide coverage of forest lands, high accuracy of results, because objective and timely information on forest plantation monitoring

is necessary for solving a wide class of applied tasks. The developed method of identifying forest fires helps to detect them at the initial stage and helps to make operational decisions, which contributes to the further assessment of the consequences of fires. The created database, included in the functionality of the system, not only stores the necessary information, but also allows you to extract it if necessary. The main advantage is that it stores space images in GeoTIFF format and allows you to structure them.

In particular, the proposed Bayesian statistical model and the decoding of space images made it possible to increase the reliability of the proposed alternative solutions in forecasting the risks of forest fires. This makes it possible to increase the efficiency of the work of the competent authorities, which specialize in neutralizing the consequences of fires, and allows preserving the forest fund.

According to the results of modeling based on the use of the Bayesian statistical model, an increase in the accuracy of forecasting the occurrence of forest fires was achieved, which ensures the reliability of solving emergency situations and allows us to talk about increasing the reliability of management decision-making by 15% to the use of the created software complex in the process of the occurrence of catastrophic situations caused by forest fires.

The scientific results of the research are a contribution to the development of the theoretical and applied foundations of the development and research of the scientific and methodological apparatus, which is related to the development of models and methods of forecasting the occurrence of forest fires.

Prospective ways of further research in this direction can be a wide range of issues related to the development of new and improvement of existing methods for minimizing the risks of forest fires based on the use of decision support systems.

**Key words:** information system, information technology, system resilience, software architecture, system construction scenarios, distributed databases, algorithm, forest fires, geodata, anthropogenic impact, mathematical modeling, probabilistic estimates, Bayes theorem.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Svynchuk O., Bandurka O., Barabash O., Ilin O., Lapin A. Development of the information system for monitoring time changes in forest plantations based on the analysis of space images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5, No. 2 (119). P. 31–41.
2. Барабаш О.В., Бандурка О.І. Моделювання лісових пожеж на основі прогностичної моделі Байєса та геоінформаційних технологій. *Сучасні інформаційні системи*. 2022. Т. 6, № 1. С. 19–28.
3. Барабаш О.В., Бандурка О.І., Шпурик В.В., Свинчук О.В. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, №4. С.17–25.
4. Bandurka O. I., Datsiuk O. A., Svynchuk O. V., Shvaiko V. G. Monitoring of forest conditions during fire danger. *Зв'язок*. 2021. № 6 (154). С. 51–63.
5. Barabash O., Bandurka O., Svynchuk O., Tverdenko H. Method of Identification of Tree Species Composition of Forests on the Basis of Geographic Information Database. *Advanced Information Systems*. 2022. Vol. 6. No. 4. P. 5 – 10.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

6. Тиховський Р.В., Бандурка О.І., Свинчук О.В. Система моніторингу вирубки лісових масивів України, що постраждали від пожеж. *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій: матеріали XXII Всеукр. наук.-тех. конференції молодих вчених, аспірантів та студентів:*

матеріали XXII Всеукр. наук.-тех. конференції молодих вчен., аспірантів та студентів, 21-22 квітня 2022 р. Одеса: ОНТУ, 2022. С.164–166.

7. Svynchuk O., Bandurka O., Shvaiko V. Forest monitoring information system during fire hazardous period. *Modern systems of science and education in the USA, EU and other countries Sworld: Conference proceedings «Sworld-Us conference proceedings»*, on January 31, 2022. No.9. P. 16–19.

8. Барабаш О.В., Шпурик В.В., Бандурка О.І. Інтеграція методів штучного інтелекту та аналітики даних для оцінки впливу на довкілля. *Topical issues of modern science. Society and education proceeding*: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф., 28-30 листопада 2021 р., Харків, 2021. С. 401–404.

9. Богач А.Г., Свинчук О.В., Бандурка О.І. Фрактальний аналіз часових змін лісових насаджень. *Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційні і комп'ютерні системи (MEICS 2021)*: зб. праць VI Всеукр. наук.-практ. конф., 24-26 листопада 2021 р. Дніпро: Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, 2021. С.17.

10. Барабаш О.В., Бандурка О.І. Імовірнісна оцінка впливу на довкілля за допомоги експертних систем. *Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє*: зб. тез доповідей XVII Міжнар. наук.-практ. конф., 26 листопада 2021 р. Том 1. Київ: ВІКНУ, 2021. С. 21–22.

11. Бандурка О.І., Барабаш О.В. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. *Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф.: 27 травня 2021 р. Черкаси. С.51–53.

12. Барабаш О.В., Шпурик В.В., Бандурка О.І. ГІС як інструмент дослідження антропогенного впливу на навколишнє середовище. *Integrated Intellectual Robototechnical Complexes (IIRTC-2021)*: матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф., 18 травня 2021 р. Київ. С.177–179.

13. Бандурка О.І., Чорний О.О. Методи оцінки спалених пожежами територій за космічними знімками. *Сучасні проблеми наукового забезпечення*

енергетики: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф., 20 квітня 2021 р. Київ: Політехніка, 2021. С. 272–273.

14. Бандурка О.І. Інформаційна система визначення уражених пожежами територій методом Байєса за допомогою ДЗЗ. *Multimodal data processing based on algebraic system of aggregates relations. Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: II International Scientific and Practical Internet Conference: Winter Debates, 4-5 February 2021. Ukraine, 2021. P. 181–183.*

15. Бандурка О.І., Богач А.Г. Розробка прикладного програмного забезпечення для аналізу часових змін лісових насаджень методом Байєса. *Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: матеріали XVIII Міжнар. наук.-практ. конф., 21-24 квітня 2020 р. Київ: Політехніка, 2020. С. 152.*

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

16. Бандурка О.І., Свинчук О.В. Метод ідентифікації космічних знімків для прогнозування лісових пожеж. *Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. № 1(67). С.13–18.*

17. Шпурик В.В., Бандурка О.І. Інформаційна система аналізу антропогенного впливу на стан лісових насаджень. *Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2021. № 3(72). С. 25–37.*

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	17
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРАКТИЧНИХ ТА НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ ЩОДО РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ .....	29
1.1. Аналіз сучасних та перспективних систем дослідження негативних впливів лісових пожеж .....	30
1.2. Аналіз сучасних геоінформаційних систем відслідковування зміни довкілля .....	37
1.3. Аналіз існуючих математичних моделей оцінювання лісових пожеж ...	45
1.3.1. Аналітичні моделі виникнення та розповсюдження лісових пожеж .	46
1.3.2. Імітаційні моделі динаміки лісових пожеж .....	52
1.3.3. Статистичні моделі прогнозування виникнення лісових пожеж .....	59
1.4. Постановка наукового завдання та часткових завдань досліджень .....	63
Висновки до розділу 1 .....	66
РОЗДІЛ 2 АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ ОЦІНКИ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ .....	67
2.1. Оцінка впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж .....	68
2.2. Обробка знімків, отриманих за допомогою космічних супутників методом ДЗЗ .....	75
2.2.1. Класифікація космічних знімків .....	77
2.2.2. Особливості дешифрування космічних знімків .....	81
2.2.3. Виявлення територій лісів, уражених пожежами, за допомогою космічних знімків .....	83
2.3. Статистична модель Байєса .....	91
Висновки до розділу 2 .....	95

РОЗДІЛ 3 ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ГЕОДАНИХ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ .....	96
3.1. Архітектура програмної системи прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса .....	96
3.2. Модель бази даних .....	101
3.2.1. Фізична база даних обробки космічного знімку .....	101
3.2.2. Геоінформаційна база даних .....	103
3.3. Засоби розробки .....	104
Висновки до розділу 3 .....	110
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ НЕГАТИВНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ .....	111
4.1. Модель дослідження впливу температури на виникнення лісових пожеж .....	111
4.2. Реалізація алгоритму визначення територій пошкоджених пожежами .....	127
4.2.1. Створення геоінформаційної бази даних лісових угідь .....	128
4.2.2. Метод дешифрування супутникових знімків для ідентифікації пожежонебезпечних місць та визначення територій, уражених пожежами .....	138
4.3. Математична модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної математичної моделі Байєса .....	141
4.4. Оцінка ефективності обробки геоданих для мінімізації ризиків виникнення лісових пожеж. ....	153
Висновки до розділу 4 .....	157
ВИСНОВКИ.....	158
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	161
ДОДАТОК А.....	174
ДОДАТОК Б .....	177
ДОДАТОК В .....	181



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

HMA – науково-методичний апарат.

Python – мова програмування.

ГІС – географічні інформаційні системи.

GCP (Ground Control Point ) – геометрична корекція наземних опірних точок.

QGIS – вільна крос-платформенна геоінформаційна система.

ПЗ – програмне забезпечення.

ЛП – лісові пожежі.

ЛГМ – лісовий горючий матеріал.

МВП – можливість виникнення пожеж.

ВП – випадковий процес.

ГБД – геоінформаційна база даних.

UML (Unified Modeling Language) – мова графічного опису для об’єктного моделювання.

SQL – мова структурованих запитів для взаємодії з базами даних.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Людська діяльність за останні десятиріччя призвела до катастрофічних наслідків, які проявляються в незворотних процесах, що роблять навколишнє середовище непридатним до життя. Негативний антропогенний вплив має глобальні наслідки, такі як поступова зміна клімату внаслідок зміни балансу газів в атмосфері, руйнуванні озонового шару, забруднення ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами, радіоактивними речовинами, виснаження і вичерпання природних ресурсів, вирубка лісів, яка сягає катастрофічних планетарних масштабів. Але найбільшою техногенною катастрофою є масштабні лісові пожежі.

Щороку внаслідок пожеж знищуються сотні тисяч гектарів лісового фонду. Статистика лісових пожеж по всьому світу і зокрема, в Україні дозволяє зробити висновок, що причиною лісових пожеж (75–80 %) є антропогенний фактор. Саме тому, загальне завдання прогнозування лісових пожеж з застосуванням засобів сучасних інформаційних технологій для зниження негативних наслідків лісових пожеж на сьогодні є актуальним.

Під час глобальних змін клімату ліси виступають певною буферною зоною в біосфері та одним з основних джерел відновлювальних природних ресурсів. На лісові екосистеми впливає негативний антропогенний фактор, який іноді призводить до незворотних наслідків. У 80-х роках минулого століття та в 2000-х роках в Україні були зафіксовані масштабні лісові пожежі. Проте в 2020 році в Україні відбулись великі пожежі, що призвели до знищення великої площі лісових угідь. Сучасний рівень аналітичних методів та аналітично-програмного забезпечення дозволяє суттєво підвищити моніторинг лісових угідь та спрогнозувати пожежну небезпеку в лісах.

Прогнозування лісових пожеж – це визначення ймовірності їх виникнення та розповсюдження в часі й просторі, ґрунтуючись на аналізі даних моніторингу лісів, місцезположення та площі ділянок I–III класів пожежної небезпеки.

Тому об'єктивна і своєчасна інформація про наслідки пожеж, отримана на основі інтеграції прогнозової моделі та технологій геоінформаційних систем (ГІС) є вкрай необхідною для вирішення різноманітних завдань в лісовідновленні, актуалізації даних про лісові насадження, охороні природного лісового фонду.

Ще одним шляхом вирішення даної проблеми є математичне моделювання ймовірних сценаріїв розвитку пожеж в залежності від ряду факторів довкілля.

Сьогодні різноманітну інформацію про лісові екосистеми можна отримати за допомогою методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Використання космічних даних моніторингу лісів є економічно вигідним, тому що дозволяє швидко отримувати об'єктивну інформацію, необхідну лісівникам для вирішення практичних задач. Супутникові дані забезпечують широке охоплення лісових угідь, високу точність результатів, а також високу частоту отриманих даних.

У сучасних умовах повної інформатизації суспільства, навряд чи можливо знайти сферу людської діяльності, яка не була б пов'язана з інженерією програмного забезпечення. Інформаційні розробки в науковому, промисловому, соціальному та економічному секторі застосовують різноманітні математичні моделі. Їх використання забезпечує прогнозування ймовірних подальших подій, класифікацію даних, їх обробку та визначення взаємозв'язків між складовими частинами, а результат їх обробки є основою для прийняття управлінських рішень.

Математичні моделі застосовують для обробки статистичних даних, аналізу вимірювань та при дослідженні властивостей та характеристик даних.

Серед математичних моделей, які спрямовані на передбачення подій, важливе місце займають прогнозуючі моделі, які використовуються як для оцінки поточного стану природних екологічних систем, так і для прогнозування динаміки антропогенного впливу, що призводить до негативних наслідків (вирубки лісів, пожежі, повені тощо).

Основною задачею прогножуючих моделей є визначення результатів подій. Екологічне прогнозування, зокрема передбачення подій в лісових екосистемах, ґрунтується на статистичних даних. Заходи по попередженню та нейтралізації лісових пожеж вимагають створення складних математичних моделей, що включає проведення моніторингу, передбачає моделювання задач, що є неструктурованими та потребує застосування сучасних інформаційних технологій.

Дослідження існуючих науково-обґрунтованих підходів в аналізі геоданих для рішення задач оцінки антропогенного впливу на довкілля і, безпосередньо, пов'язаних з розробкою методів та моделей дослідження лісових пожеж, дозволили зробити висновок про формування, за останні роки, нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням інформаційним системам модульності, універсальності, можливості обробки великих об'ємів статистичних даних та проведення складних розрахунків. Проблеми моделювання лісових пожеж розглянуті в роботах С.Ю. Антонова, Ю.А. Абрамова, Д.С. Воробйова, А.Є. Басманова, Г.А. Доррера, А.Н. Дигала, Л.М. Куценка, А.А. Тарасенка.

Розробці геоінформаційних систем присвячені роботи Х.М. Бурштинської, О.В. Барабаша, І.Л. Долинської, В.В. Шпурика, С.С. Кохан, Ковалю О.В., Кучука Г.А., Г.В. Худова, В.В. Гнатушенка, Я.В. Шидловської та зарубіжних вчених Grégoire J-M., Pinnock S, Jones P.D., Moberg A, C. Donald Ahrens і інших.

Отже, у сучасних умовах важливим завданням є мінімізації ризиків виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса для підтримки управлінських рішень. Це складне завдання доцільно поділити на ряд часткових завдань, одним з яких є обробка геоданих для визначення породного складу лісових насаджень та визначення територій уражених пожежами. Існуючі математичні моделі дослідження розповсюдження та нейтралізації лісових пожеж розглядають наслідки розповсюдження пожежі, а не самі причини виникнення. В існуючих математичних методах

використовуються складні фізико-математичні розрахунки, які в умовах невизначеностей вимагають велику кількість фізичних характеристик та складних математичних розрахунків.

На підставі проведеного аналізу виявлено існування протиріч між практичною реалізацією математичної моделі, що потребує великих об'ємів статистичних даних та складних фізико-математичних розрахунків та визначенням і нейтралізацією наслідків лісових пожеж при нагальній потребі попередження причин виникнення; між створенням геоінформаційної системи дослідження змін рослинності, що потребує залучення програмно-апаратного комплексу та значною вартістю космічних знімків високої роздільної здатності; локальним характером дослідження невеликих територій, обмежених окремими пожежами. Дана суперечлива ситуація лежить в основі актуального наукового завдання щодо *розробки науково-методичного апарату прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі в інтеграції з геододатками для підтримки управлінських рішень.*

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно з поточними та перспективними планами наукової та науково-технічної діяльності Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» для подальшого розвитку інженерії програмного забезпечення. Дослідження тісно пов'язано з розробкою науково-дослідних робіт (НДР), в яких автор приймала особисту участь, а саме: «Теоретико-методичні основи аналізу ризику в контексті розробки механізмів захисту критичної енергетичної структури в Україні» № 0117U006080, що виконувалась в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у 2017 – 2020 рр. Особисто автором в НДР запропоновано технологію визначення територій, уражених пожежами, використовуючи дані космічних знімків, з метою попередження виникнення пожеж та зменшення обсягів викидів шкідливих прямих та вторинних емісій вуглекислого та інших парникових газів, що порушують енергетичний баланс

довкілля; «Управління ризиками сталого розвитку території з використанням методів штучного інтелекту» № 0120U105256, що виконується в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» початок в 2020-2022 рр. Особисто автором в НДР розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка заснована на оцінюванні апостеріорних імовірностей таксаційних характеристик лісових виділів.

Статистична модель Байєса лежить в основі розробленого в дисертації НМА прогнозування лісових пожеж, що є однією з головних передумов досягнення сталого розвитку території.

### **Мета і завдання дослідження.**

**Метою дисертації** є підвищення ефективності (оперативності та достовірності) обробки геоданих з мінімізацією ризиків виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса для підтримки управлінських рішень.

Для досягнення мети в дисертації вирішено такі наукові **завдання**:

- Виконано аналіз математичних методів та моделей моніторингу лісових пожеж.
- Досліджено понятійний апарат лісової пірології, та, безпосередньо, встановлені основні причини виникнення лісових пожеж.
- Досліджено оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж за тривалий період.
- Розроблено геоінформаційну базу даних для визначення породного складу деревних насаджень для роботи з космічними знімками.
- Розроблено математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж.
- Удосконалено метод дешифрування супутникових знімків для визначення територій уражених пожежами та ідентифікації згарищ.
- Розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса.

- Проведено моделювання для підтвердження достовірності отриманих наукових результатів обробки та дешифрування космічних знімків для встановлення територій вражених пожежами.

**Об'єкт дослідження** – моніторинг лісових пожеж на основі обробки космічних знімків в інтеграції з геоінформаційною складовою.

**Предмет дослідження** – моделі, методи та алгоритми моніторингу лісових пожеж.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої в роботі мети використано методи системного та порівняльного аналізу (для визначення актуальності та постановки наукового завдання дисертаційної роботи). Методи дослідження на основі математичної статистики та Data Science (для оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж), теорії ймовірностей (для прогнозування виникнення лісових пожеж). Для обробки космічних знімків, їх дешифрування та класифікації використовуються геоінформаційні методи.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що в дисертаційній роботі:

1. Вперше розроблено архітектуру програмного забезпечення системи прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка відрізняється від існуючих використанням математичної моделі оцінки впливу температури навколишнього середовища на імовірність виникнення лісових пожеж, методу дешифрування супутникових знімків та математичної моделі прогнозування виникнення лісових пожеж. Використання зазначеного програмного забезпечення дозволяє розробити інформаційну систему прогнозування лісових пожеж.

2. Вперше розроблено математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на імовірність виникнення лісових пожеж, яка базується на аналізі довгострокового періоду кліматичних статистичних даних, за допомогою Data Science. Модель дозволяє проводити дослідження впливу глобальних змін температури на виникнення лісових пожеж.

3. Удосконалено метод дешифрування супутникових знімків для ідентифікації пожежонебезпечних місць та визначення територій, уражених пожежами, яка заснована на спектральному аналізі температур яскравості. Зазначений метод при дешифруванні дозволяє виключити із знімків фрагменти, які покриті хмарами та зайняті водними об'єктами для встановлення просторово-часових характеристик пожеж. Реалізація даного методу також дозволить встановити території, уражені пожежами, та визначити їх клас пожежної небезпеки.

4. Вперше розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байеса, яка заснована на оцінюванні апостеріорних імовірностей таксаційних характеристик лісових виділів. Зазначена математична модель є основою для розробки програмного забезпечення прогнозування виникнення лісових пожеж та підвищує точність оцінювання зазначених апостеріорних імовірностей в середньому на 12-18 %.

5. Удосконалено методику оцінки наслідків пожеж за даними дистанційного зондування Землі, яка на відміну від існуючих адаптована на обробку знімків низької роздільної здатності та базується на встановленні пожежного індексу. Реалізація зазначеної методики дозволить підвищити точність оцінювання породного складу та площ уражених ділянок лісових угідь в середньому на 8-12 %, а також підвищити оперативність вирішення завдань у порівнянні з традиційними методиками у 25-30 разів.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в їх застосуванні для планування заходів, спрямованих на зниження ризиків виникнення катастрофічних лісових пожеж та нормалізації пожежної ситуації на вражених територіях. Створено інформаційну базу даних на основі керованої класифікації знімків, що дозволяє встановлювати породний склад деревних насаджень та підготовлювати знімки для подальшої обробки. Встановлено, що 70 % лісів є сосновими, у меншій кількості зустрічаються осикові, грабові, березові, вільхові та ясеневі породи дерев. Оброблені космічні знімки забезпечують широке охоплення лісових угідь, високу точність результатів,



адже об'єктивна і своєчасна інформація моніторингу лісових насаджень необхідна для вирішення широкого класу прикладних завдань. Розроблений метод ідентифікації лісових пожеж допомагає виявляти їх на початковій стадії і дозволяє приймати оперативні рішення, що сприяє подальшому оцінюванню наслідків пожеж.

Зокрема, запропонована статистична модель Байєса та дешифрування космічних знімків дозволили підвищити оперативність та достовірність запропонованих альтернативних рішень при прогнозуванні ризиків виникнення лісових пожеж.

Розроблений науково-методичний апарат прогнозування лісових пожеж може використовуватися також для обліку й інвентаризації лісів та створення лісових карт. Інформація, отримана в результаті реалізації алгоритмічно-програмного забезпечення дозволяє провести власну оцінку інформації, порівнявши її з офіційними даними Державного комітету статистики та Державного агентства лісових ресурсів. Зокрема, запропонована статистична модель Байєса та дешифрування космічних знімків дозволили підвищити достовірність запропонованих альтернативних рішень при прогнозуванні ризиків виникнення лісових пожеж.

Результати досліджень прийняті до впровадження в Державному підприємстві «Словечанський дістгосп» (акт від 11.08.2022 р.); в UAB «ZALIOSIOS MEDIENA» (акт від 12.01.2022 р); в навчальному процесі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (акт реалізації від 11.07.2022 р.) при викладанні дисципліни «Геоінформаційні системи» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

### **Особистий внесок здобувача**

Дисертаційна робота є самостійно виконаною науковою працею. Всі представлені наукові результати, приклади та експериментальні розрахунки, викладені у дисертації, одержані здобувачем одноосібно. У наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, в дисертаційній роботі використані лише ті результати, які становлять індивідуальний внесок автора. У статтях із співавторами автору належить: в [1] проведено порівняльний аналіз космічних знімків, отриманих за допомогою дистанційного зондування супутниковою системою Landsat 8 для визначення територій, уражених лісовими пожежами. Під час проведення класифікації був використаний спектральний аналіз та визначений індекс згарищ для зазначення спалених територій; в [2] дисертанткою розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка заснована на оцінюванні апостеріорних імовірностей таксаційних характеристик лісових виділів; в [3] побудовано карти рослинного покриву за нормалізованим вегетаційним індексом за методом К-середніх, для моніторингу динаміки зміни рослинності протягом 20 років та розроблено математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж, яка базується на аналізі довгострокового періоду кліматичних статистичних даних, за допомогою Data Science. Точність результатів була перевірена методом Байєса; в [4] запропоновано програмне забезпечення розпізнавання породного складу дерев. Удосконалено метод дешифрування супутникових знімків для визначення територій, уражених пожежами та ідентифікації згарищ, який на відміну від існуючих заснований на спектральному аналізі температур яскравості. Реалізація даного методу дозволить встановити території, уражені пожежами, та визначити їх клас пожежної небезпеки; в [5] створена спеціалізована геоінформаційна база даних для подальшої обробки даних та встановлення породного складу. Проаналізовано лісовий покрив за кількістю дерев по кожній породі окремо протягом тривалих часових рядів; проведено кореляційний аналіз, який

визначає щільність взаємозв'язків між зміною кількості деревних насаджень та різними лісовими показниками; в [16] запропоновано методику оцінки наслідків пожеж за даними дистанційного зондування Землі, яка на відміну від існуючих адаптована на обробку знімків низької роздільної здатності та базується на встановленні пожежного індексу; алгоритм виявлення потенційно «пожежних» пікселів, в якому досліджується кожен піксель сцени, зокрема хмарні та димові маскування, з їх подальшим виключенням з дослідження; в [17] реалізовано керовану класифікацію космічних знімків для встановленням породного складу лісових насаджень з використанням вбудованого класифікатора Байєса.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на десяти науково-технічних конференціях:

- XXII Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» (21-22 квітня, 2022, м. Одеса);
- Sworld US Conference proceedings «Modern systems of science and education in the USA, EU and other countries» (on January 31, 2022, USA);
- V International scientific and practical conference. «Topical issues of modern science. Society and education proceeding» (28-30 November, 2021, Kharkiv).
- VI Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційні і комп'ютерні системи» (MEICS 2021) (24-26 листопада, 2021, м. Дніпро).
- XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє» ( 26 листопада, 2021, м. Київ).
- Третя міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси» (27 травня, 2021, м. Черкаси).
- 14 international science and technical conference «Integrated Intellectual Robototechnical Complexes» (IIRTC-2021) (18 травня, 2021, м. Київ).

– XIX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (20 квітня, 2021, м. Київ).

– 2nd International Scientific and Practical Internet Conference «Multimodal data processing based on algebraic system of aggregates relations. Integration of Education, Science and Business in Modern Environment» (4-5 February, 2021, Dnipro, Kyiv).

– XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (21-24 квітня, 2020, м. Київ).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 17 наукових праць. Основні наукові положення викладено в 5 наукових статтях [1–5] у спеціалізованих фахових виданнях України. Із них одна наукова стаття [1] опублікована у періодичному видання, що входить до наукометричної бази SCOPUS. За матеріалами виступів на науково-технічних конференціях опубліковано 10 тез доповідей [6–15]. Додатково результати досліджень відображені в статтях [16, 17].

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 3 додатків та списку використаних джерел із 126 найменувань на 13 сторінках. Повний обсяг дисертації складає 199 сторінок, з них 173 сторінки основного тексту.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРАКТИЧНИХ ТА НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ ЩОДО РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Пожежі є небезпечним явищем природного або техногенного та антропогенного характеру, які здатні неодноразово повторюватись на певній території.

Пожежі відносять до екзогенних локально-катастрофічних чинників, що знищують природні біогеоценози (вигорання сотень тисяч гектарів лісу, тисячі тон сажі та золи, канцерогенні сполуки, що надходять до атмосфери). Найбільш складними і небезпечними є лісові пожежі, які призводять до катастрофічних наслідків для навколишнього природного середовища. Збільшення кількості і масштабів таких пожеж пов'язане з процесами глобального потепління, що має негативні наслідки по всіх куточках планети. Особливо гостро ця проблема стоїть і в Україні [18].

Щорічно на території країни фіксуються сотні лісових пожеж, внаслідок яких втрачається безцінний заповідний фонд, зникають ендемічні породи дерев, відбувається винищення біоти.

Космічні методи відстеження сприяють своєчасному виявленню лісової пожежі на початковій стадії. Вчасна фіксація пожежі забезпечує прийняття управлінських рішень, що сприяє ефективному моніторингу та виявленню наслідків. Використання космічних даних моніторингу для боротьби з наслідками пожежі є економічно вигідним, тому що забезпечує швидке отримання об'єктивної інформації, необхідної для оперативного прийняття рішень.

Головними джерелами даних про виникнення пожеж є активні вогнища горіння та уражені пожежами площі лісових територій, що характеризуються специфічними підходами. Але спосіб детектування активних вогнищ горіння не здатен оцінити просторове охоплення уражених вогнем територій, так як має

певні обмеження, зокрема відсутність супутника у необхідній для детектування точці в момент активного горіння, або погана видимість області пожежі через велику хмарність. Тому необхідні дані про уражені пожежами території [18].

Для створення прогнозової моделі та встановлення вихідних параметрів необхідне розуміння закономірностей розвитку та розповсюдження лісових пожеж.

У подальшому це надасть можливість прийняття ефективного управлінського рішення в охороні лісового фонду від негативного антропогенного впливу на основі розробленого програмно-алгоритмічного забезпечення.

Розділ містить короткий аналіз розповсюдження та прогнозування виникнення лісових пожеж, заснований на роботах вітчизняних і закордонних фахівців. Проводиться аналогія та різниця між досліджуваними геоінформаційними системами дослідження стану рослинності. Проаналізовано основні математичні методи та моделі дослідження розвитку та нейтралізації лісових пожеж. Аналіз існуючого програмно-алгоритмічного забезпечення доводить нагальну потребу у розробці нового науково-методичного комплексу, що сприятиме прогнозуванню та попередженню виникнення катастрофічних явищ, а також швидкому реагуванню та прийняттю раціональних управлінських рішень.

### **1.1. Аналіз сучасних та перспективних систем дослідження негативних впливів лісових пожеж**

Лісова пірологія – наука, що вивчає природу лісових пожеж та зміни в екологічних системах лісу, які виникають внаслідок їх дії. На основі знань про природу пожеж розробляються методи боротьби та нейтралізації негативних наслідків [18].

Лісові пожежі є глобальним стихійним лихом, внаслідок яких знищуються сотні тисяч гектарів лісових насаджень, що призводить до збільшення рівня

оксидів вуглецю. В комплексі ці явища змінюють клімат планети, призводячи до глобальних порушень в екосистемах. Століттями накопичувався досвід боротьби з пожежами, розроблена низка математичних моделей розповсюдження загоряння, але досвід доводить, що їх кількість не зменшується, а з кожним роком зростає.

Статистика лісових пожеж в Україні за останні 20 років надана на рис. 1.1.

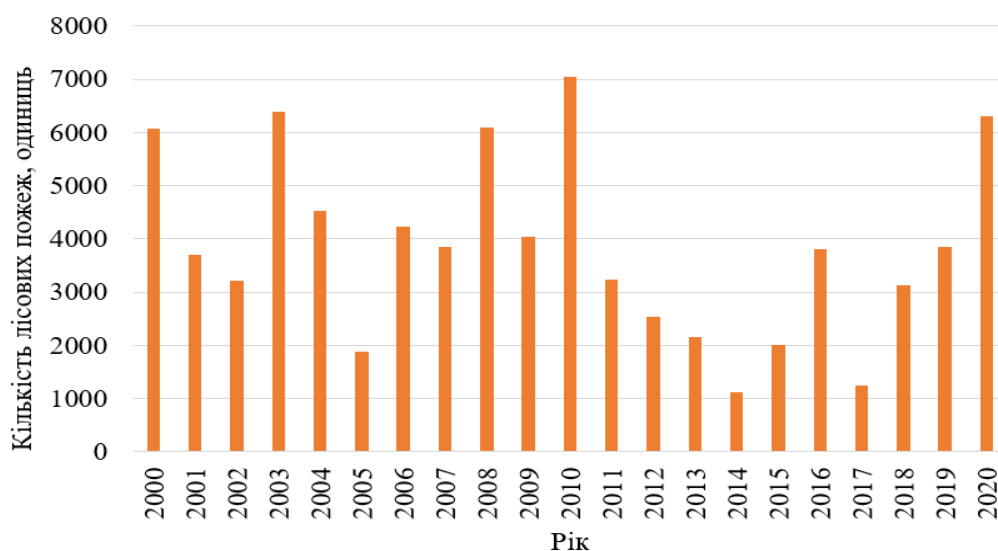


Рис. 1.1. Статистика лісових пожеж в Україні

Аналізуючи статистику лісових пожеж, на території України спостерігається тенденція високої пожежної небезпеки в країні. Дана ситуація негативном чином впливає на всі сфери життя, включаючи екологічні аспекти.

Варто відмітити, що наслідки лісових пожеж мають незворотній вплив не лише на регіональному, але й проявляються на глобальному планетарному рівні. Серед згубних впливів має місце підвищений вміст вуглекислого газу.

Статистика концентрації вуглекислого газу за останні 800000 років зображена на рис. 1.2.

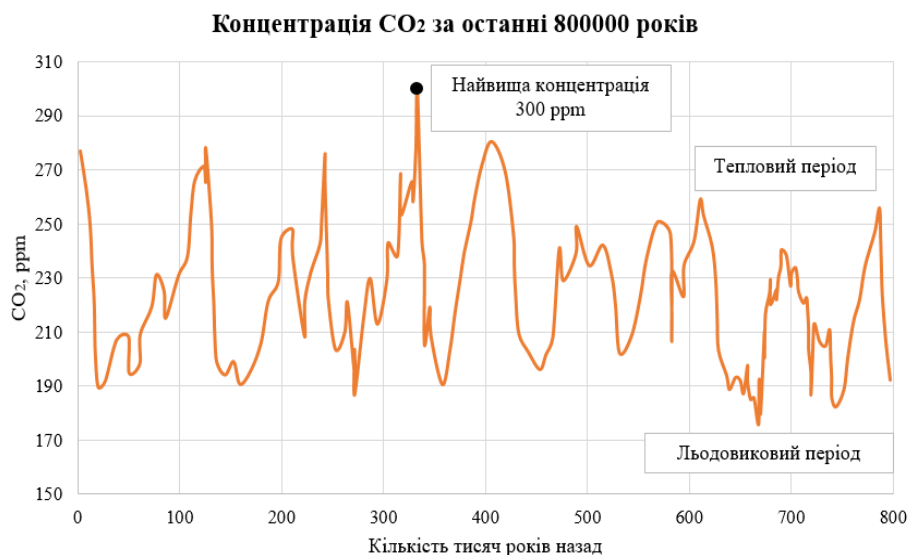


Рис. 1.2 Динаміка зміни вмісту оксидів вуглецю в атмосфері

Аналізуючи динаміку концентрації оксидів вуглецю, спостерігається тенденція до зростання вмісту шкідливого газу в атмосфері, що спричиняє глобальне потепління клімату та збільшення рівня акселерації.

Досліджуючи роботи вчених в галузі лісової пірології, особливої уваги заслуговують праці Г.Н. Коровіна, В.Д. Покривайла, А.І. Сухиніна, С.М. Вонського [20], В.С. Коморовського, Г.А. Доррера [21], Д.В. Баровика, В.Б. Таранчука [22], F. Steward, H. Emmons, Finney M.A. [23] та інших.

Антропогенний фактор визнається головною причиною пожеж, які відбуваються в лісових екосистемах. Невисокий рівень опадів та постійно зростаюча температура сприяють підвищенню ймовірності загоряння та є каталізаторами швидкості розповсюдження пожежі [24].

Всі лісові пожежі розрізняють за класифікацією Мелехова І.С. (1947) наведеною на рис. 1.3.

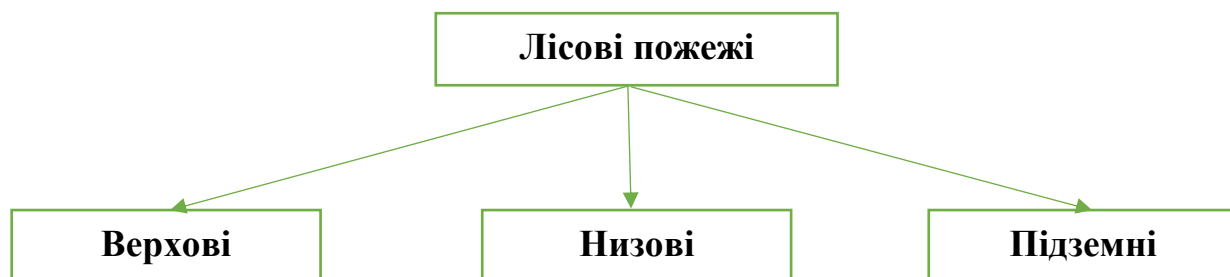


Рис. 1.3. Види лісових пожеж



В свою чергу пожежі поділяються на:

- низові (надгрунтові, підстилково-гумусові, підлісно-кущові та пенькові);
- верхові (вершинні, повальні та ствольові);
- підземні (торф'яні) [24].

За класифікацією Курбатського М.П. (1964) виключаються ствольові пожежі, так як вони зустрічаються досить нечасто [18-19].

Детальне вивчення даних про природу пожеж дійшло висновку про існування п'яти груп закономірностей в виникненні і розвитку пожеж, які необхідно враховувати при створенні їх прогностичної моделі [26]:

1. Географічні закономірності в виникненні лісових пожеж, які відносяться до суворо визначеного клімату та зонам лісової рослинності.

2. Кліматичні закономірності, що виражені спалахами лісових пожеж в періодично повторювані роки засухи.

3. Сезонні закономірності, що зумовлені особливостями клімату та зміною фенофаз розвитку рослинності, які проявляються в щорічному повторі, характерному для кожної місцевості, розподілу пожеж за періодами пожежобезпечного сезону та в одноманітній зміні характеру пожеж за цими періодами.

4. Періодичні закономірності, зумовлені зміною погоди за природними синоптичними періодами і виражаються в періодичному зростанні чи спаданні умов, які сприяють виникненню та розвитку пожеж.

5. Добові закономірності, які складаються зі зміни метеорологічної обстановки протягом доби і пов'язуються з виникненням та інтенсифікацією пожеж в визначений час доби.

Причини виникнення лісових пожеж розділяють на групи, зображені на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Причини виникнення лісових пожеж

До природних причин відносять блискавки, самовільне загорання торфу, пластів кам'яного вугілля, масові розповсюдження жуків, що поїдають кору дерев.

Пожежі антропогенного характеру виникають за причин, не пов'язаних безпосередньо з лісництвами, хоча і непрямым чином залежать від них. До таких відносять підвищення небезпеки виникнення пожеж поблизу залізничних доріг та розміщення поблизу населених пунктів, необережне поводження з вогнем під час відпочинку та заготівлі лісової продукції.

Лісові пожежі за силою горіння представлено в табл. 1.1 за класифікацією Молчанова А.А. (1940) [25].

Таблиця 1.1

## Класифікація пожеж за силою горіння

Показник	Значення показників сили пожежі		
	слабкої	середньої	сильної
Низова пожежа			
Швидкість розповсюдження вогню, м/хв	до 1	1-3	більше 3
Висота полум'я, м	до 0,5	0,5-1,5	більше 1,5
Верхова пожежа			
Швидкість розповсюдження вогню, м/хв	до 3	3-100	більше 100
Підземна пожежа			
Глибина прогорання, см	до 25	25-30	більше 50

Нестеров В.Г. [18] у своїх дослідженнях встановив тісний зв'язок між станом погодних умов і лісовими пожежами. Він стверджує, що підвищення температури повітря сприяє випаровуванню вологи, зміні вологості ЛГМ. Наприклад, за відносної вологості повітря понад 60 %, імовірність виникнення лісової пожежі дуже низька; за 40-60 % – можлива слабка рухлива пожежа; за 30-40 % – імовірність виникнення лісових пожеж дуже висока; менше 25 % – низові лісові пожежі легко переходять у верхові.

З 1972 р. в Україні прийнято 5 класів шкали пожежної небезпеки за погодними умовами залежно від метеорологічного показника Несторова [18]:

- клас I – до 300 – відсутність пожежної небезпеки;
- клас II – 301-1000 – мала пожежна небезпека;
- клас III – 1001-4000 – середня пожежна небезпека;
- клас IV – 4001-10000 – висока пожежна небезпека;
- клас V – понад 10000 – надзвичайна пожежна небезпека.

Спостереження за станом лісів в пожежонебезпечний період або безпосередньо в період пожеж є ефективним на базі космічних знімків.

Існує чотири категорії причин, що викликають швидкий розвиток пожеж за Арнольд та Баком [18], які зображені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

## Категорії причин, що викликають швидкий розвиток пожеж

Категорія	Причина
1	2
Перша	Займання площі за рахунок декількох розподілених по площі осередків горіння; вторинне горіння за площею, пошкодженою слабкою пожежею, з наявністю велика кількість недогорілих паливних матеріалів; загорання крон листяних насаджень, що підсушені низовою пожежею; пожежний вихор.

Продовження таблиці 1.2.

1	2
Друга	Підсилення пожеж, зумовлених атмосферними умовами: розсіювання нічної інверсії провокує підсилення процесу газообміну на пожежі і швидкому розповсюдженню пожежі; акумулювання горючих газів поблизу ґрунту при низьких інверсіях.
Третя	Рельєф: пожежа в горних умовах підсилюється на хребті, внаслідок сильного вітру; пожежа на одному схилі може перейти на інший, так як виділяється достатня кількість тепла для загорання іншого.
Четверта	Стан поверхні горіння, що є комплексом складових паливного матеріалу, погоди та рельєфу в критичних пропорціях. Незначна зміна одного з факторів здатна призвести до «вибуху».

Не менш важливим є встановлення класів пожежної небезпеки за породним складом [18].

Аналіз систем оцінки пожежної небезпеки зосередив увагу на канадській системі CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System) [26] та американській національній системі NFDRS (National Fire Dander Rating System) [27]. Принцип дії системи заснований на постійних (ознаки ЛГМ – кількість, вид, розміри, вік) та мінливих (відносній вологості та температури повітря, вологість ЛГМ, швидкості вітру тощо) характеристиках, що зумовлюють пожежну небезпеку. Для оцінки пожежної безпеки використовуються емпіричних даних багатьох таблиць та поправочні коефіцієнти, що одержують внаслідок експериментальних досліджень.

Згідно [27] була розроблена класифікація пожеж за розмірами площі, що наведена в табл. 1.3. Ця класифікація важлива для статистики пожеж, особливо для реєстрації пожеж по їх закінченню, коли стабілізується площа гарей.

Таблиця 1.3

## Класифікація пожеж за розмірами площі

Клас	A	B	C	D	E
Кількісне значення, га	Менше 0,1	0-5	5-50	50-150	Більше 150

Основним недоліком систем є оцінювання пожежної небезпеки, виходячи з багаторічного аналізу статистичних даних про виникнення пожеж на території цих країн. Таким чином ці системи прогнозування є непридатними для кліматичної зональності України та особливостей рослинного покриву та територіальних характеристик.

Таким чином, проведений аналіз фундаментальних експериментальних досліджень негативних впливів від лісових пожеж довів складність процесу та необхідність комплексного підходу. На основі визначених переваг і недоліків встановлено необхідність застосування сучасних методів та технологій ГІС, так як моделювання пожеж ефективно лише в інтеграції з геододатками.

## **1.2. Аналіз сучасних геоінформаційних систем відслідковування зміни довкілля**

В умовах сучасності необхідним є створення програмно-алгоритмічного забезпечення для моніторингу та прогнозування наслідків негативного антропогенного впливу, зокрема лісових пожеж. Статистичні дослідження довели, що 75-80 % лісових пожеж виникають внаслідок недбалого ставлення, спричиненого людською діяльністю.

Технологія інтегрованих геододатків сприяє виявленню і моніторингу вогнищ загорання та розроблена з можливістю зберігання та ефективного вилучення просторової інформації. Використання ГІС-технологій в дослідженні пожеж активізує процес пошуку джерел загорання, що сприяє збереженню природного ресурсного фонду та життя людей [29].

Моніторинг та своєчасне гасіння пожеж можливі при попередньому дослідженні та ефективному прогнозуванні показників пожежної небезпеки та ймовірності виникнення пожеж. ГІС здатні інтегрувати інформацію з різних джерел, зокрема оцифровані карти, космічні знімки.

Людство вже давно перестало бути лише частиною біосистеми, а стало загрозою існування всьому живому. Сучасна цивілізація не стоїть на місці, розвиваючись в технологіях, які сприяють збереженню біоти та планети в цілому. Особливе місце займають геоінформаційні системи відслідковування негативного антропогенного впливу на природні системи.

Аналіз сучасних наукових та інформаційних джерел в області досліджень пожежонебезпечних територій та створення прогнозних моделей виникнення лісових пожеж виявив цілу низку фундаментальних та перспективних робіт.

У дослідженнях Васильєва А.В., Краснящих А.В., Коротаєва В.В. розглянута розробка програмно-апаратного комплексу виявлення та моніторингу лісових пожеж на базі безпілотного літального апарату. В роботі застосовується метод суміщення зображень тепловізійного та телевізійного каналів. Обґрунтований вибір основних компонентів системи. Описана архітектура спеціального програмного забезпечення [30]. У роботі [31] застосовується метод суміщення зображень тепловізійного та телевізійного каналів, детально описана архітектура спеціального програмного забезпечення. Худов Г. В., Кучук Г.А., Маковейчук М., Крижний А. зосереджують свій аналіз на відомих методах сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження [32].

Ряд дослідників відзначили перспективність застосування супутникових даних для оцінки ступеня пошкодження лісів пожежами. Результати досліджень, продемонстрували кореляцію між показниками ступеня пошкодження та значеннями коефіцієнта відображення в середньому інфрачервоному каналі [105], нормалізованого різницевого вегетаційного індексу NDVI та ряду інших вегетаційних індексів [3], отриманих завдяки супутниковим зображенням. Визнана доцільність комбінованого використання

супутникових даних, отриманих до і після пожежі [32]. Більшість досліджень має локальний характер, здійснюється на досить невеликих територіях, обмежених окремими пожежами.

Найбільш перспективним є напрямок Барталева О.М. [33], роботи якого присвячені розробці методів оцінки стану і динаміці лісів на основі даних космічних спостережень. Особлива увага приділена методам контролю стану довкілля за допомогою систем дистанційного зондування, методам розпізнавання та обробці зображень, математичного моделювання, аналізу часових серій даних, математичній статистиці, геоінформатиці, системного та прикладного програмування [1-5]. Просторово-часові методи досліджень лісових масивів на основі кореляційного синтезу ДЗЗ відображено в роботі Триснюка В.М. та Триснюка Т.В. [34]. Високі досягнення застосування ГІС технологій відмічені в галузі сільського господарства. Прогнозування врожайності, проведення моніторингу полів для визначення загроз стало доступним завдяки використанню супутникових даних. Датчики видають зображення в різних спектрах, що дає можливість застосування чисельних спектральних індексів, таких як нормалізований диференційований вегетаційний індекс (NDVI), індекс вмісту хлорофілу в покривах (CCCI), що врегульовує внесення поживних речовин, нормалізований індекс Red Edge (NDRE) визначає вміст азоту, модифікований ґрунтово-керований вегетаційний індекс (NSAVI) застосовується для мінімізації впливу ґрунтового фону на ранніх фазах розвитку рослин [35].

Серед сучасних досліджень варто відмітити роботи Поморцевої О.Є. з моделювання розташування екологічно небезпечних об'єктів за допомогою ГІС [36], Костюченко Ю.В., які в своїх працях зазначають високі перспективи використання ГІС-технологій в вивченні навколишнього середовища [37], Бурштинської Х., Долинської І. [38], Кохан С.С. [39-40] та зарубіжних вчених Grégoire J-M., Pinnock S [41], Jones P.D., Moberg A [42], C. Donald Ahrens [43] та інших.

На даний час існує достатня кількість інформаційних систем, що успішно забезпечують процес візуалізації та аналізу даних, але серед них досить недостатньо систем для обробки даних, пов'язаних зі зміною рослинного покриву, зокрема спричиненими лісовими пожежами. Серед інформаційно-аналітичних платформ особливої уваги заслуговують ряд систем. Серйозним накопичувачем супутникових знімків та кліматичних даних є онлайн-ресурс NASA Earth Observatory. На веб-сайті відбуваються постійні оновлення програми новими актуальними даними.

Глобальні моделі рослинності спостерігаються супутниками, що в подальшому використовуються для дослідження змін рослинності внаслідок кліматичних змін, дії природних та антропогенних факторів. На картах рослинність відображається індексом в зеленості, що ґрунтується на ряді факторів. Місця, з швидким ростом рослин та густим листям, мають високий індекс та зображуються в темно-зелених кольорах. Низький вегетаційний індекс відображається блідими кольорами і притаманний областям з низькою рослинністю. Сірі кольори – рослинність відсутня. Приклад глобальної рослинної карти зображено на рис. 1.4.

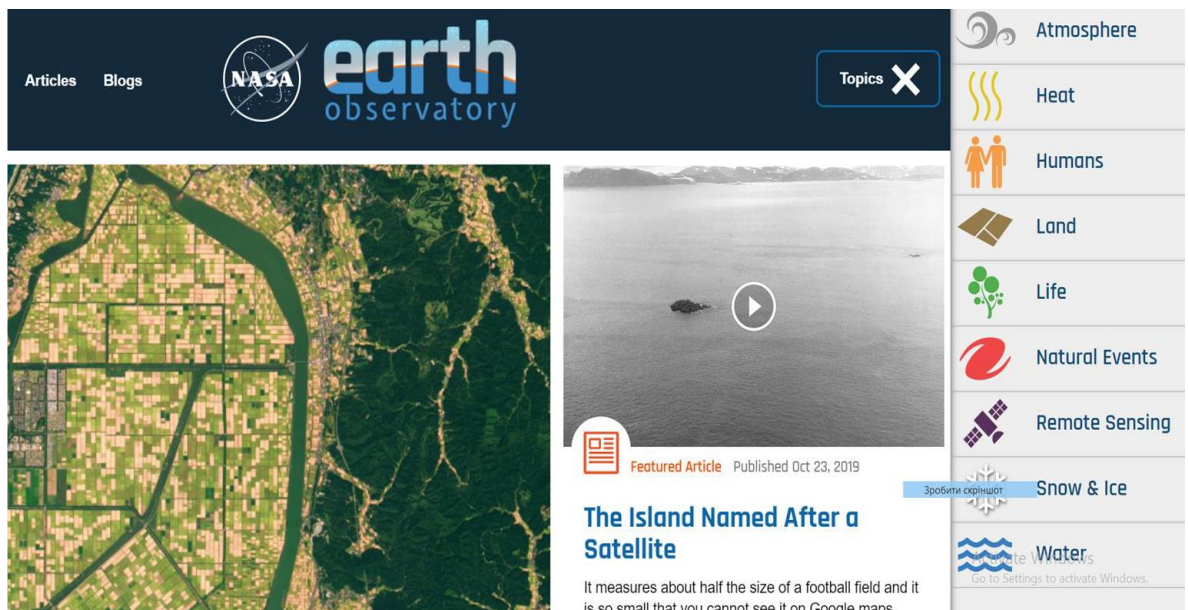


Рис. 1.4. Глобальна рослинна карта



Основною перевагою даного інтерактивного веб-застосунку для візуалізації та аналізу даних є отримання даних з супутників NASA безпосередньо в Інтернеті, не використовуючи методи збору та аналізу даних.

Незалежно від ГІС, яка бере участь у процесі, оцифрування ландшафту залишається однією з трудомістких задач. Оновлення карти, з урахуванням внесених змін у ландшафті залишається актуальною проблемою.

Американський проект «Земний архів» спрямований на «лазерне картографування» земного ландшафту лідарами, внаслідок чого виник проект The Earth Archive. Метою проєкту є відстеження змін земних ландшафтів. В ньому планується створити тривимірну карту світу з прогнозуванням кліматичної кризи. Для досягнення мети будуть задіяні летальні апарати, що густою сіткою лазерних променів бомбардуватимуть ландшафти [44].

Лідар є ефективним далекоміром оптичного діапазону. В системах машинного бачення, скануючі лідари створюють двовимірну або тривимірну картину оточуючого середовища. «Атмосферні» лідари визначають відстані до непрозорих об'єктів, що відбивають світло та аналізують властивості, розсіюючого світла, прозорого середовища.

Для розв'язання задач моделювання складних екологічних систем розроблено безліч комп'ютерних моделей. Структура та функціонування екосистем, високі технічні можливості сучасних комп'ютерів, математичного апарату та інженерних комп'ютерних технологій сприяють переходу на інший щабель розвитку створення моделей. Розробка комплексних моделей базується на досвіді різних методів і знань з різноманітних наукових галузей.

FORRUS-S – екологічна модель, в якій інтегровано декілька моделей на базі протоколу обміну даними з метою дослідження поведінки при різних сценаріях [45].

Задачею системи FORRUS-S є програмно-технічне рішення, основою якого є протокол обміну даними, що відбувається між незалежними додатками. Для інтеграції моделей розроблений інтерфейс обміну даними між різними моделями у вигляді протоколів передачі даних між модулями, які об'єднуються

в систему моделей і прогнозують стан лісів. Комп'ютерні моделі, з яких складається система, зумовлюють перехід від аналітичних моделей, що дозволяють досліджувати природну до імітаційних моделей.

Процесні моделі здатні враховувати ефекти ендогенних процесів та зовнішніх факторів, що дозволяє прогнозувати поведінку системи за зміною параметрів середовища, зокрема кліматичних характеристик.

Вихідні дані одних моделей є вхідними даними для інших, що дозволяє провести прогнозну оцінку виникнення негативних явищ, зокрема пожеж в екологічних лісових системах [46-47].

Зведена інформація за моделями, що пов'язані інтеграцією, наведена в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

## Характеристика інтеграційних моделей

Модуль	Період моделювання	Вихідні дані	Результат (вихідні змінні)
1	2	3	4
FORRUS-S	5 років	Таксаційний опис, просторова структура виділів за космічними знімками	Сировина та продукція лісів, рекреаційний та господарський потенціал. економічна оцінка
Romul Hum	1 місяць	Гідрологічні сталі. Вміст азоту, вологість підстилки та мінерального ґрунту, температура	Геохімічні характеристики ґрунтів (накопичення вуглецю та азоту)

Продовження таблиці 1.4.

1	2	3	4
SCLISS	1 місяць	Гідрофізичні властивості ґрунтів, метеодані, породний склад насаджень	Забезпечення ґрунтів теплом та вологою
Bio Calc	1 рік	Таксаційний опис, типи лісів, вихідні дані моделювання динаміки екосистем лісу	Збереження біологічного різновиду рослинного ґрунтового покриву

Побудова сучасних інформаційних програмних систем відбувається на основі модульної архітектури, маючи при цьому відстежується ряд переваг:

- розробка та модифікація кожного окремого компонента;
- модульна структура дозволяє поступову програмну розробку;
- різні компоненти можуть бути написані різними мовами програмування та розробниками;
- легка інтеграція з іншими моделями;
- компоненти є взаємозамінними, можливе порівняльне тестування різних моделей однієї системи;
- здатність систем змінювати функціональність в залежності від вимог.

Основним недоліком є необхідність постійного доповнення ядра системи моделями, які забезпечуватимуть моделювання процесів, що ввійшли в FORRUS-S.

Для визначення кількісних та якісних характеристик стану територій Землі розроблені різні методи та алгоритми обробки космічних зображень. Метод отримання даних, основою якого є кореляційна теорія, що дозволяє їх ефективно розпізнавати та класифікувати описаний у роботах [48-49]. Показано, що побудова відповідного класифікатора значно підвищить

ефективність подальших операцій. У роботах [50-52] описані дослідження просторово-часової сегментації візуальних даних для їх впровадження для різних мереж та складних систем.

Проаналізувавши доступні веб-застосунки для роботи з екологічними показниками, встановлено, що вони мають ряд недоліків:

- використання досить рідкісних технологій для розробки веб-клієнтів, що суттєво ускладнює підтримку, модернізацію та додавання нового функціоналу;
- користувацький інтерфейс, який не відповідає сучасним вимогам дизайну, що негативно впливає на доступність та зручність користування програмами;
- повна відсутність або обмежений функціонал для аналізу та візуалізації локальних даних, майже відсутній програмний математичний апарат;
- існує високий поріг входження для використання програми, що серйозно обмежує кількість користувачів;
- обмежені можливості для візуалізації мікрокліматичних показників.

Отже, зробивши аналіз існуючих систем відслідковування змін в екосистемах Землі, варто відзначити, що існує серйозний дефіцит комп'ютерних систем для аналізу та візуалізації екологічних даних. Деякі з них є повністю платними й недоступні для скачування безкоштовної версії. Деякі з них відстежують в межах певних країн лісові займання. Ні одна система не має функціоналу для виявлення залежностей в даних, якими оперує, і не займається їх прогнозуванням. Зокрема, застосунки не володіють зворотнім зв'язком, підтримкою користувачів в режимі реального часу. Для створення програмних застосунків дослідження процесів, пов'язаних з виникненням та поширенням лісових пожеж, актуальним є використання математичних моделей.

### 1.3. Аналіз існуючих математичних моделей оцінювання лісових пожеж

У світовій практиці налічується біля 160 методів прогнозування та моделювання, але в практичних дослідженнях та управлінні екологічними системами використовуються лише близько 20, серед яких особливе місце посідають методи експертного оцінювання, логічні методи моделювання та прогнозування, методи міжгалузевого балансу, математичні та імітаційні методи моделювання. Система оцінювання пожежної небезпеки за Вебером представлена у роботі [53].

Математична модель лісової пожежі – сукупність співвідношень, поєднаних формалізованими зв'язками між вхідними і вихідними параметрами, що є головними характеристиками процесу [53].

Класифікація математичних моделей зображена на рис. 1.5.



Рис. 1.5. Класифікація математичних моделей

Згідно Вебера [52] математичні моделі лісових пожеж поділяються на три групи:

- фізичні ;
- напівемпіричні (імітаційні);
- емпіричні (статистичні).

### 1.3.1. Аналітичні моделі виникнення та розповсюдження лісових пожеж

Аналітичні моделі лісових пожеж описують фізико-хімічні процеси горіння ЛГМ. Особливий внесок в дослідження мають роботи Леонтьєва А.К., Моршина В.П., Родіонова С.С. [26], Гришина А.М. [54] та інших.

Дослідження ґрунтуються на комплексі фізичних явищ, зумовлених різними тепло- та масо передачами, з урахуванням факторів впливу довкілля та особливостей ЛГМ.

Таким чином, аналіз аналітичних моделей лісових пожеж довів, що це теоретичні моделі. Їх основою є фундаментальні фізико-математичні та хімічні закони, які відображаються в системах складних диференціальних рівнянь. Верифікація таких моделей досить складна, але вони описують багато процесів. Основним недоліком таких моделей є те, що чисельні розв'язання систем рівнянь ускладнені складними фізико-математичними розрахунками, тому непридатні для практичних розрахунків.

Для побудови моделей використовується система нелінійних інтегрованих диференціальних рівнянь за заданими та початковими умовами.

В даній моделі [54] ліс у пожежному процесі – багатофазне, багатоярусне середовище, яке складається із сухої органічної речовини (об'ємна частка  $\varphi_1$ ), води в рідинно-краплинному стані ( $\varphi_2$ ), конденсованого продукту піролізу (кокс,  $\varphi_3$ ), конденсованого продукту горіння коксу (попіл,  $\varphi_4$ ), газової фази ( $\varphi_5$ ), дисперсних часток сажі ( $\varphi_6$ ) і золи ( $\varphi_7$ ), а також крапель води ( $\varphi_8$ ). Елементи ЛГМ мають одну температуру, а газова й дисперсна фази – іншу. Під впливом вітру елементи середовища коливаються. Теплова енергія, яка виділяється у фронті пожеги в результаті вільної конвекції і випромінювання, передається лісовим горючим матеріалам. Останні нагріваються, висушуються і розкладаються на газоподібні горючі й інертні продукти піролізу і конденсований горючий продукт піролізу (кокс). Газоподібні і конденсовані продукти згоряють. І потім процес повторюється знову. Довжина вільного

пробігу фотона при лісовій пожежі менший характерних розмірів лісового фітоценозу  $\bar{r}$  і  $h$ , де  $\bar{r}$  – ефективний діаметр мікропор (середня відстань між окремими деревами),  $h$  – середня висота ЛГМ. Оптичні властивості ЛГМ залежать від довжини хвилі випромінювання і змінюється з ростом температури.

Процеси тепло- і масопереміщення в зоні пожежі описуються наступною системою рівнянь [54]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_j}{\partial x_j} = Q, \quad j=1,2,3, \\ \varphi = \sum_{i=5}^8 \varphi_i, \end{cases} \quad (1.1)$$

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial v_i}{\partial t} = -\varphi \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho F_i + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - Q v_i - \rho c_d s \left( v_i |\vec{v}| + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sqrt{(v'_i - v'_{is})^2} \cos \alpha_i + \right. \\ \left. + \sum_{i=j}^3 \sqrt{(v'_i - v'_{is})(v'_j - v'_{js})} \cos \alpha_j \right), \quad i, j=1,2,3, \\ \vec{F} = \vec{g} + (\vec{\Omega} \times \vec{r}) \times \vec{\Omega} + 2\vec{v} \times \vec{\Omega}, \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} \sum_{i=5}^8 \rho_i \varphi_i c_{pi} &= \sum_{i=5}^8 \varphi_i \frac{dp}{dt} + \rho F_j v_j + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \lambda_{ef,j} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial T}{\partial x_j} \left( \rho \sum_{\alpha=1}^N D_{\alpha,ef} c_{p\alpha} \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_j} \right) - \\ &- (\varpi + \varpi^s) [c U_R - B(T)] + \alpha_v (T_s - T) + c_{ps} (T_s - T) (1 - \alpha_c) R_1 + c_{p7} (T_s - T) R_2 + \\ &+ q_{3s} R_3^{(s)} + q_5 R_5 + q_2 R_8^{(s)}, \quad R_8^{(s)} = R_{8-}^{(s)} - R_{8+}^{(s)}, \end{aligned} \quad (1.3)$$

$$\rho \frac{d c_\alpha}{dt} = R_\alpha + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \rho D_{\alpha,ef} \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_j} \right) - c_\alpha Q, \quad \alpha=1,2,\dots,N-1, \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^4 \rho_i \varphi_i c_{pi} \frac{\partial T_s}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \lambda_{sj} \frac{\partial T_s}{\partial x_j} \right) - \varpi_s [c U_R - B(T_s)] + \\ &+ q_{1s} R_{1s} - q_{2s} R_{2s} + q_{3s} R_{3s} + \alpha_v (T - T_s), \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_{1s}, \quad \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_{2s}, \quad (1.6)$$

$$\begin{cases} \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_{1s} - \frac{M_c}{M_1} R_{3s} - \alpha_3 R_{3s} - R_6^{(s)}, \\ \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = \alpha_4 R_{3s} - R_7^{(s)}, \end{cases} \quad (1.7)$$

$$\sum_{\alpha=1}^8 c_\alpha = 1, \quad \sum_{i=1}^8 \varphi_i = 1, \quad p = \rho_5 RT \sum_{\alpha=1}^{N-3} \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \quad (1.8)$$

$$Q = (1 - \alpha_c) R_{1s} + R_{2s} + \frac{M_c}{M_1} R_{3s} + R_6^{(s)} + R_7^{(s)} + R_8^{(s)}, \quad (1.9)$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ij}^{(1)} + \tau_{ij}^{(2)}, \quad \tau_{ij}^{(1)} = \mu \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right), \quad i, j = 1, 2, 3. \quad (1.10)$$

де  $t$  – час, хв.

$\vec{r}$  – радіус-вектор будь-якої точки, м

$x_j$  – декартові координати,

$\varpi, \varpi^{(s)}, \varpi_s$  – інтегральні коефіцієнти поглинання газу, дисперсних частинок та конденсованої фази відповідно,

$B$  – функція Планка,

$U_R$  – інтегральна густина випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>;

$c_{pi}, c_{p7}, c_{ps}$  – теплоємності при постійному тиску окремих фаз, водяної пари й газоподібних продуктів піролізу, Дж/кг К;

$v_j, |\vec{v}|$  – компоненти і модуль середньої швидкості газу і дисперсних частинок, м/с;  $v'_s, v'_s$  – пульсаційні компоненти швидкості потоку й згинальних коливань елементів ЛГМ, м/с;

$\rho_i$  – дійсна густина  $i$ -ї фази, кг/м<sup>3</sup>;

$R_{8-}^{(s)}, R_{8+}^{(s)}$  – масові швидкості конденсації пари та випаровування вільної води в газодисперсній фазі,

$q_{1s}, q_{2s}, q_{3s}$  – теплоти піролізу, випаровування зв'язаної води і горіння коксу,

$q_2$  – теплота випаровування вільної води, Дж/моль;



$p$  – тиск газу, Н/м<sup>2</sup>;

$\tau_{ij}^{(1)}, \tau_{ij}^{(2)}$  – ламінарні и турбулентні компоненти тензора дотичних напруг,

$c_\alpha$  – масова концентрація  $\alpha$ -компонента в дисперсійному середовищі, моль/м<sup>3</sup>;

$N$  – кількість компонентів в дисперсійному середовищі;

$R_\alpha$  – масова швидкість утворення  $\alpha$ -компоненти в газодисперсній суміші в результаті піролізу ЛГМ, кг/(м<sup>2</sup>с);

$R_6^{(s)}, R_7^{(s)}, R_8^{(s)}$  – масові швидкості утворення частинок диму, сажі і капель води,  $\rho = \rho_5\varphi_5 + \rho_6\varphi_6 + \rho_7\varphi_7 + \rho_7\varphi_7$  – густина дисперсної суміші, кг/м<sup>3</sup>;

$D_\alpha, D_t$  – коефіцієнти молекулярної і турбулентної дифузії,

$\lambda, \lambda_t$  – коефіцієнти молекулярної і турбулентної теплопровідності газової фази,

$\mu, \mu_t$  – коефіцієнти молекулярної і турбулентної в'язкості,

$D_{N-2,ef}, D_{N-1,ef}, D_{N,ef}$  – ефективні коефіцієнти дифузії частинок диму,

$D_{\alpha,ef}$  – ефективний коефіцієнт дифузії  $\alpha$ -компонента,

$\alpha_v$  – коефіцієнт внутрішнього теплообміну,

$R_{is}$  – масові швидкості утворення речовини конденсованих фаз, кг/(м<sup>2</sup>с);

$T, T_s$  – температура газової і конденсованої фази, К;

$\lambda_s$  – коефіцієнт теплопровідності пористої конденсованої фази;

$\vec{q}_R, \vec{q}_{R_s}$  – вектори густини променевого теплового потоку в газодисперсній фазі і пористому середовищі, Вт/м<sup>2</sup>;

$q_{R_j}, q_{R_{js}}$  – компоненти векторів  $\vec{q}_R, \vec{q}_{R_s}$ ,

$\cos \alpha_i$  – напрямні косинуси вектору середньої швидкості газодисперсної фази,

$q_k$  – теплові ефекти хімічних реакцій,  $k=1,2,3$ , де 1 відповідає реакції піролізу, 2 – масовій швидкості випаровування зв'язаної води, 3- швидкості гетерогенного горіння коксу,  $\alpha_c$  – коксове число ЛГМ,

$R$  – універсальна газова стала, мольК;

$M_c, M_1$  – атомарна і молекулярна маси вуглеводу та кисню,

$M_\alpha$  – молекулярна маса  $\alpha$ -компонента газової фази,  $\vec{g}$  – прискорення сили тяжіння,

$\vec{\Omega}$  – кутова швидкість обертання Землі,  $15^\circ$  за 1 год;

$\lambda_{ef}, \mu_{ef}$  – ефективні коефіцієнти теплопровідності і в'язкості газу,

$c_d$  – коефіцієнти опору рослинності,

$\alpha_v = \alpha_s$  – коефіцієнти об'ємного теплообміну елементу ЛГМ із середовищем,

$s$  – питома поверхня ЛГМ в даному ярусі лісу,  $m^2/kg$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт теплообміну,  $Wt/m^2 \cdot K$ ;

$F_j$  – компоненти вектору  $\vec{F}$ , нижній індекс  $s$  відповідає реакціям за участі конденсованих речовин, верхній індекс  $s$  відповідає характеристикам дисперсної фази.

В наведеній системі рівнянь формула (1.1) відображає закон збереження газодисперсної фази, (1.2) – закон збереження кількості руху газодисперсної фази в проекціях на осі координат, (1.3) – закон збереження енергії в

газодисперсному потоці з врахуванням переносу енергії як конвекцією, так і випроміненням, (1.4) – закон збереження маси окремих компонентів в газодисперсному потоці з врахуванням процесів конвекції та дифузії, (1.5) – закон збереження енергії в конденсованій фазі, (1.6) – описує кінетику піролізу і сушіння ЛГМ, (1.7) – описує баланс коксу і попелу, (1.8) – алгебраїчні інтеграли всієї системи і рівняння стану для газової фази, (1.9) – швидкість генерації і дисперсної фази в результаті випаровування і хімічних реакцій, (1.10) – тангенціальні компоненти тензора напруг через похідні через компоненти швидкостей середньої течії [54].

Структура фронту верхової лісової пожежі зображено на рис. 1.6.

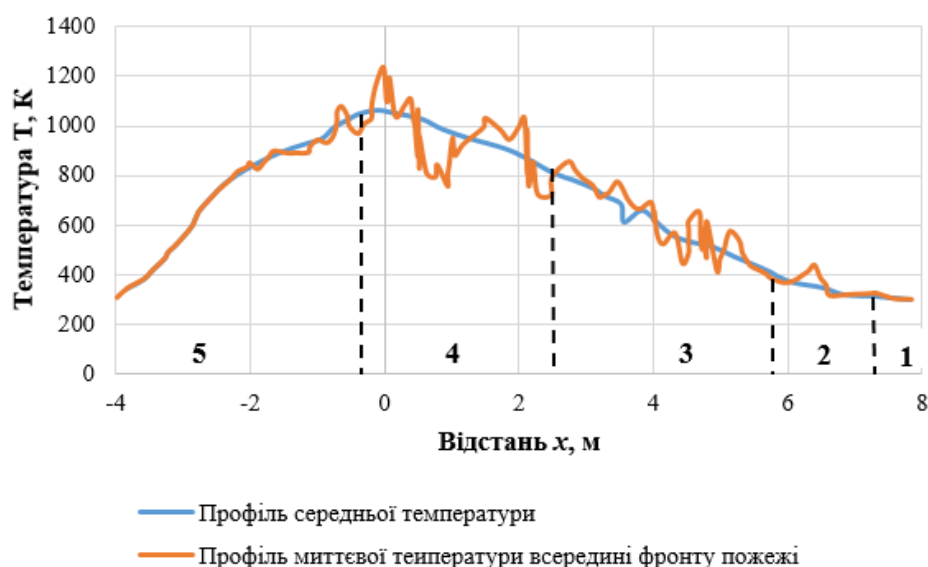


Рис. 1.6. Структура фронту верхової лісової пожежі: 1 – зона прогріву ЛГМ, 2 – зона сушки ЛГМ, 3 – зона піролізу, 4 – зона горіння газоподібних продуктів піролізу, 5 – зона догорання конденсованих продуктів піролізу.

Таким чином, аналіз аналітичних моделей виникнення та розповсюдження лісових пожеж довів, що це теоретичні моделі. Їх основою є фундаментальні фізико-математичні та хімічні закони, які відображаються в системах складних диференційних рівнянь. Верифікація таких моделей досить складна, але вони описують багато процесів. Основним недоліком таких моделей є те, що

чисельні розв'язання систем рівнянь ускладнені складними фізико-математичними розрахунками, тому непридатні для практичних розрахунків.

### **1.3.2. Імітаційні моделі динаміки лісових пожеж**

Дані моделі містять безліч підходів. Дослідженню даного процесу присвячені роботи багатьох вчених, зокрема Доррера Г.А., Воробйова О.Ю., Басманова А.Є., Валендика Є.М., Куценка Л.М. та інших, які сконцентровані на випадковій природі виникнення процесу [55-62].

Основною перевагою моделей для практичного застосування та розрахунків є інформація, отримана в наочному вигляді.

Імітаційні математичні моделі поділяються:

- ймовірнісні;
- детерміновані.

Ймовірнісні моделі є дискретними в часі, а лісова пожежа розглядається як процес випадкового розповсюдження [55-56]. За основу моделі приймається безліч припущень, досліджується динаміка розповсюдження пожежі площею лісів, що поділена на квартали протипожежними ярами, без врахування динаміки виділів. Ймовірності розповсюдження пожежі задаються попередньо. Поле ймовірностей приймається неоднорідним та імітує розповсюдження пожежі під впливом вітру. Отриманий результуючий контур пожежі є випадковим, його побудова не прив'язується до визначеної лісової ділянки. Таким чином, результат створеної моделі не використовується в практиці нейтралізації пожежі, так як не є основним динамічним параметром [57].

Детерміновані моделі характеризуються різними геометричними методами моделювання та обмеженнями і спрощеннями, які прийнято в них застосовувати [58-60]. Особливістю моделей є те, що в якості інтегральної характеристики області приймається густина ЛГМ. При цьому шар ЛГМ приймають як однорідний, що дозволяє застосувати в якості додаткової моделі

геометричний закон горіння, щоб описати контур кромки вигорання в будь-який момент часу в залежності від початкової форми місця загорання [60-61].

Моделювання кромки вигорання з урахуванням неоднорідності густини в континуально розподіленому ЛГМ методом іміджевої екстраполяції розглядається в [58-60]. За  $n$  відомими в попередні моменти часу топографічним схемам кромки вигорання відтворюється контур в будь-який наступний момент часу.

При створенні ймовірнісної моделі розповсюдження лісової пожежі, її локалізація визначається як випадкова подія. Визначення ймовірності локалізації в вибраному напрямку можлива через вирішення задачі про викид за нульову ординату випадкового процесу, тобто ширину країв пожежі, яка розповсюджується неоднорідним шаром ЛГМ.

Модель розповсюдження низової лісової пожежі за неоднорідним шаром ЛГМ представлена в роботі [55].

Швидкість розповсюдження пожежі, з урахуванням зовнішніх факторів (переважно орографічних та кліматичних), в різних напрямках  $\varphi$  буде неоднаковою, тобто  $V = V(\varphi)$ . Для дослідження всіх процесів, що відбуваються в цьому напрямку, необхідно зафіксувати деякий кут, що визначає напрямок розповсюдження фронту пожежі [56].

Фронт пожежі в момент  $t$  розглянемо як різницю двох множин  $C = A \setminus B$ , де  $A$  – всі точки простору, які зазнали до моменту  $t$  вогняного впливу,  $B$  – точки простору, в яких горіння призупинено.

Отже, розповсюдження пожежі розглядається як переміщення з часом ділянки  $C$  шаром горючого матеріалу. Кожна множина визначеного напрямку характеризується радіус-векторами. Нехай для множини  $A$  заданий  $R_A(t)$ , для множини  $B$  –  $R_B(t)$ , де  $R_A(t)$  та  $R_B(t)$  описують зовнішню та внутрішню межі фронту і є векторами випадкової довжини, що змінюються у часі, і є випадковим процесом. Область  $C$  в даному напрямку визначається різницею цих векторів, тобто ширина країв пожежі також є випадковою і визначається як

$L(t) = R_A(t) - R_B(t)$ . На момент виявлення осередка вогнища  $t_0 = 0$  фронт визначається не випадковими векторами  $R_{A0}$  і  $R_{B0}$ , а ширина фронту  $L_0 = R_{A0} - R_{B0}$  [55].

За пірологічними характеристиками шар горючого матеріалу приймається за однорідне випадкове поле та застосовується модель швидкості  $V_A$  розповсюдження вогню цим шаром у вигляді нормального стаціонарного випадкового процесу (ВП). Математичне сподівання  $M_A$  випадкового процесу  $V_A$  є функцією пірологічних параметрів шару та зовнішнього впливу (рельєф, вітер) і визначається моделлю швидкості розповсюдження лісової пожежі [56-57].

Дисперсія випадкового процесу  $V_A$  визначається із заданої кореляційної функції швидкості. Функція щільності ймовірності випадкового процесу  $V_A$  в першому наближенні має вигляд:

$$f(V_A) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{V_A}} \cdot e^{-\frac{(V_A - \nu_A)^2}{2\sigma_{V_A}^2}}. \quad (1.11)$$

Кореляційна функція:

$$K_{V_A}(t_1, t_2) = K_{V_A}(t_2 - t_1) = K_{V_A}(\tau) = \sigma_{V_A}^2 e^{-\alpha|\tau|}, \quad (1.12)$$

де  $\sigma_{V_A}^2$  – дисперсія швидкості розповсюдження області  $A$ .

Нормальний стаціонарний випадковий процес  $V_B$  для швидкості розповсюдження області  $B$  є функцією попередньо застосованих лісопірологічних параметрів, що і  $V_A$  [57]. Тому кореляція між схожими за часом значеннями швидкості гасіння відсутня. Для  $V_B$  маємо:

$$f(V_B) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{V_B}} \cdot e^{-\frac{(V_B - \nu_B)^2}{2\sigma_{V_B}^2}}, \quad (1.13)$$

$$K_{V_B}(t_1, t_2) = K_{V_B}(t_2 - t_1) = K_{V_B}(\tau) = \sigma_{V_B}^2 \delta(\tau), \quad (1.14)$$

де  $\sigma_{V_B}^2$  – дисперсія швидкості розповсюдження області  $B$ .

Для знаходження щільності ймовірності ВП  $R_A(t)$  та  $R_B(t)$  обчислимо радіус пожежі, який є інтегралом за часом від швидкості його розповсюдження:

$$R = R_0 + \int_0^t V(x) dx. \quad (1.15)$$

Для математичного сподівання  $R_A(t)$  та  $R_B(t)$  маємо:

$$\begin{aligned} MR_A(t) &= M \left( R_{A0} + \int_0^t V_A(x) dx \right) = R_{A0} + \int_0^t MV_A(x) dx = \\ &= R_{A0} + \int_0^t v_A dx = R_{A0} + v_A t, \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$MR_B(t) = R_{B0} + v_B t. \quad (1.17)$$

Дисперсії ВП  $R_A(t)$  та  $R_B(t)$  знаходимо за формулою:

$$DR_A(t) = \sigma_{R_A}^2(t) = \frac{2\sigma_{V_A}^2}{\alpha} \left( t + \frac{e^{-\alpha t}}{\alpha} - \frac{1}{\alpha} \right), \quad (1.18)$$

$$DR_B(t) = \sigma_{R_B}^2(t) = 2\sigma_{V_B}^2 t. \quad (1.19)$$

При великих значеннях  $t$  маємо розвинену пожежу

$$DR_A(t) = \sigma_{R_A}^2(t) \cong \frac{2\sigma_{V_A}^2}{\alpha} t. \quad (1.20)$$

Функції щільності мають вигляд:

$$f(r_A, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{R_A}} \exp \left( -\frac{(r_A - R_{A0} - v_A t)^2}{2\sigma_{R_A}^2} \right), \quad (1.21)$$

$$f(r_B, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{R_B}} \exp \left( -\frac{(r_B - R_{B0} - v_B t)^2}{2\sigma_{R_B}^2} \right). \quad (1.22)$$

Другий випадковий процес  $L(t) = R_A(t) - R_B(t)$  досліджує ширину країв пожежі. При будь-якому  $t$   $R_A(t) > R_B(t)$ , оскільки ширина не може бути від'ємною величиною, тому

$$L(t) \geq 0. \quad (1.23)$$

Так як для ВП  $Z = X - Y$  щільність ймовірності [58]

$$f(z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_Y(y) f_X(z+y) dy, \quad (1.24)$$

то функція ймовірності ВП  $L(t)$  дорівнює

$$f(1,t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{R_B}(r_B,t) f_{R_A}(1+r_B,t) dr_B. \quad (1.25)$$

Для нормування виразу (1.25) використовується формула умовної щільності розподілу [58]:

$$f(x|y) = \frac{f(x,y)}{f(y)} = \frac{f(x,y)}{\int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y) dy}. \quad (1.26)$$

Враховуючи, що  $f(1) = f(1,1)$ , та вирази (1.23) і (1.25), отримуємо:

$$f(1|1 \geq 0, t) = \frac{f(1,t)}{\int_0^{\infty} f(1,t) dt} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f_{R_B}(r_B,t) f_{R_A}(1+r_B,1) dr_B}{\int_{-\infty}^{+\infty} dl \int_{-\infty}^{+\infty} f_{R_B}(r_B,t) f_{R_A}(1+r_B,1) dr_B}. \quad (1.27)$$

Підставивши (1.21) і (1.22) в (1.27) та проінтегрувавши його, отримаємо:

$$f(1|1 \geq 0, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_{R_A}^2 + \sigma_{R_B}^2)}} \exp\left(-\frac{(1 - R_{A0} - v_A t + R_{B0} - v_B t)^2}{2(\sigma_{R_A}^2 + \sigma_{R_B}^2)}\right) \times \\ \times \frac{1}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{-R_{A0} - v_A t + R_{B0} - v_B t}{\sqrt{2\pi(\sigma_{R_A}^2 + \sigma_{R_B}^2)}}\right)}. \quad (1.28)$$

Розв'язок даної задачі дозволяє знайти ймовірність затухання пожежі вибраного напрямку внаслідок випадкового відхилення величин від їх середнього значення швидкості зовнішньої та внутрішньої границь країв пожежі [56].

Ймовірність  $P_0$  відсутності викидів за час  $T$  за рівень з ординатою  $a$  [57]:

$$P_0 = \exp\left(-\int_0^T \int_0^{\infty} v_L f(1|_{a=1}, v_L | t) v V_L dt\right), \quad (1.29)$$

де  $v_L$  – значення ВП  $V_L$  – швидкості зміни ширини ВП  $L$ , тобто



$$V_L \equiv L'_t. \quad (1.30)$$

$f(1, v_L | t)$  – двомірний закон розподілу ординати ВП  $L$  та його похідної  $V_L$  в один момент часу  $t$ .

Ймовірність викиду за час  $T$  дорівнює:

$$P_B = 1 - P_0. \quad (1.31)$$

Досліджуючи математичне сподівання швидкості внутрішньої границі країв пожежі у вигляді  $v_B = v_A - \delta V$ . Очевидно, що  $\delta V$  матиме різний знак, зокрема, в момент досягнення негорючої перешкоди зовнішньою межею країв пожежі,  $\delta V$  рахується меншою 0. Локалізація пожежі в даному випадку відбувається з ймовірністю 1, що зображена на рис. 1.7.

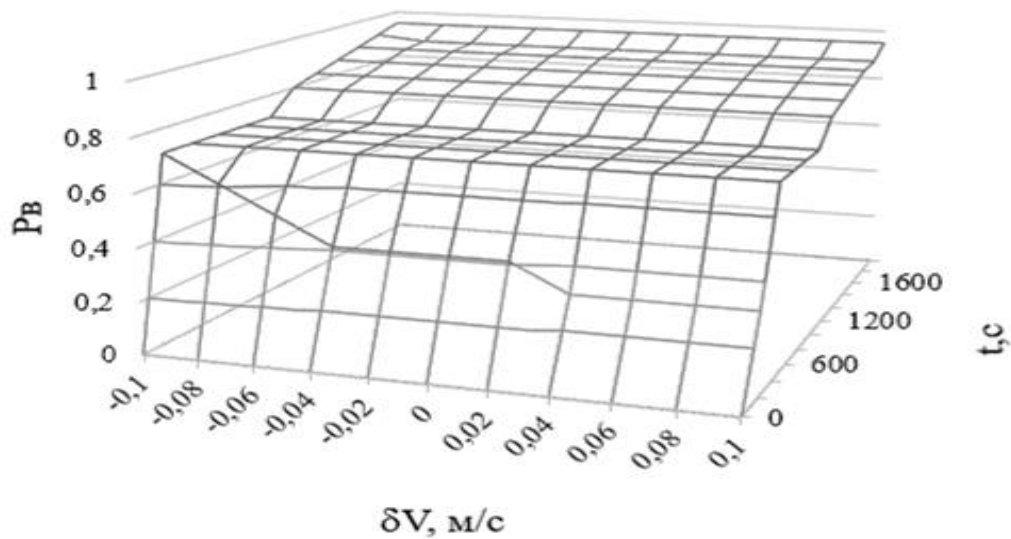


Рис. 1.7. Графік залежності  $P_B(t, \delta V)$ ,  $v_A = 0,5 \text{ м/с}$ ,  $L_0 = 0,2 \text{ м}$ ,  
 $\sigma_{v_A} = \sigma_{v_B} = 0,1 \text{ м/с}$

Швидкість з часом збільшується та ймовірність самозатухання невелика (хоча і не дорівнює 0, тобто загорання не обов'язково призведе до пожежі, що пояснюється неоднорідністю шарів ЛГМ [58].

На рис. 1.8. показана динаміка залежності ймовірності локалізації пожежі від початкових країв пожежі (для рівності  $v_B = v_A$ ). Дана залежність слабка, чим більша ширина початкових країв, тим менша ймовірність її затухання [58].

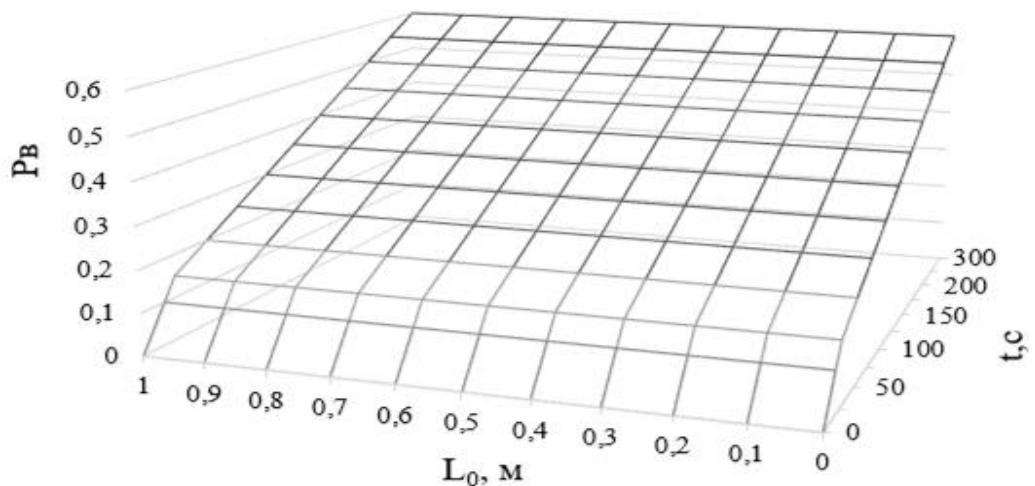


Рис. 1.8. Графік залежності  $P_B(t, L_0)$ ,  $V_A = V_B = 0,5$  м/с,  $R_{A0} = 100$  м,  
 $\sigma_{V_A} = \sigma_{V_B} = 0,1$  м/с

Дана залежність слабка, чим більша ширина початкових країв, тим менша ймовірність її затухання [61].

Математична модель відображає ймовірність локалізації низових лісових пожеж в якості функції геометричних параметрів вогнища пожежі та параметрів неоднорідного шару ЛГМ [62-64].

Таким чином, проведений аналіз імітаційних моделей показав, що їх основі лежать загальні фізичні закони у вигляді спрощених залежностей, підбір коефіцієнтів відбувається узагальненням експериментальної інформації. Основними їх недоліками є: точність моделі визначається ступеню деталізації вхідної інформації; в кожному конкретному випадку потрібно оптимізувати кількість інформації.

### 1.3.3. Статистичні моделі прогнозування виникнення лісових пожеж

Статистичні моделі є одним з різновидів прогностичних математичних методів.

Теорія прийняття рішень та прикладна статистика є науковою основою статистичних методів прогнозування. Важливою є точність оцінювання прогнозу, з цією метою застосовують ймовірнісно-статистичні моделі [57].

В статистичних моделях прийнято систематизувати ряди даних про швидкість розповсюдження лісових пожеж, при яких відбувається зміни визначеної кількості параметрів та за кожною незалежною змінною визначають коефіцієнти кореляції [64-66].

Розрахунок розподілу джерел лісових пожеж у вигляді статистичної моделі описано в роботах Курбатського Н.П., Доррера Г.А. та інших [65].

Основним припущенням для побудови моделі є:

- потенційні джерела вогню розташовані на лісових ділянках нерівномірно;
- потенційні джерела вогню залежать від антропогенних впливів і від впливу джерел тепла на лісовий горючий матеріал.

Єдиною достовірною інформацією є дані про виникнення пожеж за минулі роки. Тому в моделі досліджена статистика явищ та багаторічних даних лісових пожеж з врахуванням трансформацій [72-73].

Для оцінки небезпеки появи джерел вогню в кожній точці досліджуваної території розглядається функція можливості виникнення пожеж (МВП):

$$\varphi(x, y) = \varphi_1(x, y) + \varphi_2(x, y), \quad (1.32)$$

де  $\varphi_1(x, y)$  – функція МВП для координатної точки для поточного року на основі минулорічних статистичних пожежних даних;  $\varphi_2(x, y)$  – «фонова» небезпека виникнення пожеж, експертна оцінка залежності від об'єктивних умов [74].

Основою для даного метода служить наступна гіпотеза – якщо на будь-якій ділянці в минулому спостерігалась пожежа, то сусідні ділянки є теж потенційно небезпечними. Слід вважати, що площа території, ураженої пожежою достатньо невелика, порівняно з загальною і тому кожна статистична пожежа розглядається як точка на карті. Отже, з кожною пожежею, яка мала місце в минулому, пов'язується потенціал пожежної небезпеки, який визначається потенційною функцією  $U(x, y, x_i, y_i)$ , що діє у певному околі точки виникнення пожежі  $S_i$  з координатами  $(x_i; y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$ , де  $p$  – загальна кількість статистичних пожеж [74].

Для знаходження потенціальної функції  $U(x, y, x_i, y_i)$  на карту досліджуваної території навколо точки виникнення пожежі в минулому проводиться коло радіуса  $R_i$  і всім точкам всередині цього круга приписується потенціал

$$U(x, y, x_i, y_i) = \frac{1}{\pi R_i^2}, \quad (1.33)$$

а всім іншим точкам поза кругом – потенціал, рівний нулю. Радіус  $R_i$  вибирається експериментально в залежності від відвідування лісу і стану рослинності (рис. 1.9).

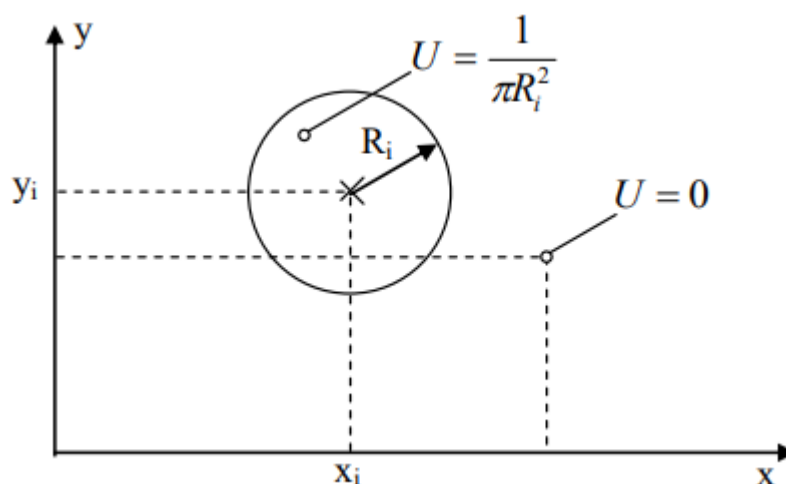


Рис. 1.9. Обчислення потенціальної функції

Функція  $\varphi_1(x, y)$  для кожної точки лісової території визначається як сума потенціальних функцій, які породжені минулими пожежами:

$$\varphi_1(x, y) = \sum_{i=1}^p U(x, y, x_i, y_i). \quad (1.34)$$

Даний спосіб побудови функції співпадає з методом ковзного усереднення кількості пожеж на території, що розглядається з допомогою кола радіусу [74-76]. Величина  $R_i$  визначає ступінь усереднення статистичних даних про пожежі. При  $R_i \rightarrow 0$  функція  $U(x, y, x_i, y_i)$  прагне двомірної дельта-функції  $\delta = (x - x_i, y - y_i)$ , а вираз (3) відмінний від нуля лише в точках, де у минулому виникали пожежі, тобто описує розподіл статистичних пожеж по території, не роблячи жодного усереднення. При  $R \rightarrow R_{\max} = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$  функція  $\varphi_1(x, y)$  постійна для всієї території і дорівнює середній кількості пожеж, що припадають на одиницю площі території за аналізовані роки. Варіюючи  $R_i$  у вказаних межах, можна отримати необхідний ступінь узагальнення статистичних даних [74].

Розглянемо обчислення функції  $\varphi_1(x, y)$  для кожного кварталу. На рис. 1.10 побудовані круги навколо точок виникнення пожеж. Квартал розбивається на ділянки, де значення функції  $\varphi_1(x, y)$  постійні.

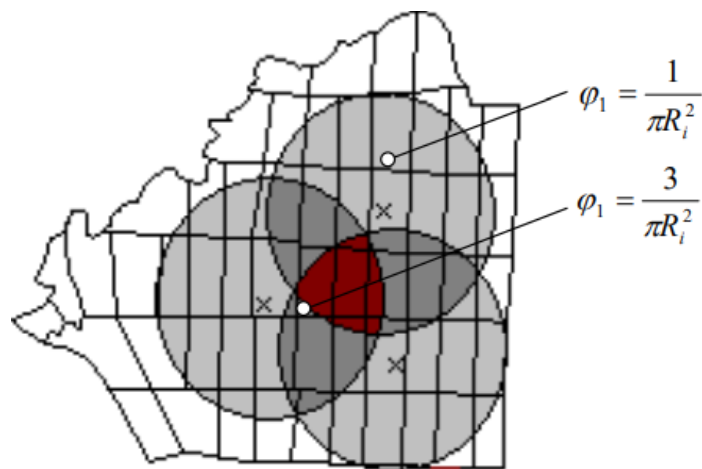


Рис. 1.10 Обчислення функції  $\varphi_1(x, y)$  для кожного кварталу

Середнє значення функції  $\varphi_1(x, y)$  для кварталу виражається як

$$\varphi_{1k}(x, y) = \frac{\sum_{b=1}^B \varphi_{1bk}(x, y) S_{bk}}{\sum_{b=1}^B S_{bk}}, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (1.35)$$

де  $\varphi_{1k}(x, y)$  – середнє значення функції МВП кварталу,  $\varphi_{1bk}(x, y)$  – значення функції МВП ділянки  $b$  в кварталі  $k$ ,  $S_{bk}$  – площа ділянки  $b$  в кварталі  $k$ ,  $K$  – число кварталів досліджуваної території [74].

Величину фонові складові МВП  $\varphi_2(x, y)$  можна брати постійною для всієї території, яка рівна деякій частині від максимального значення функції

$$\varphi_{1\max} = \max \varphi_{1k}(x, y): \varphi_{2k}(x, y) = \alpha \varphi_{1\max}(x, y), \alpha = 1, \quad (1.36)$$

або диференційовано для різних ділянок території

$$\varphi_{2k}(x, y) = f(x, y, \varphi_{1\max}) < \varphi_{1\max}, \quad (1.37)$$

причому множник  $\alpha$  і функція  $f$  вибираються експериментально [74].

Для зручності використання функції МВП для задачі визначення пожежної небезпеки кожного кварталу території [74], сумарну функцію  $\varphi(x, y)$  доцільно прирівняти до одиниці та перейти до нормованої функції:

$$\bar{\varphi}_k(x, y) = \frac{\varphi_k(x, y)}{\max_{x, y \in D} \varphi_k(x, y)} = \frac{\varphi_{1k}(x, y) + \varphi_{2k}(x, y)}{\varphi_{1\max} + \varphi_{2\max}}. \quad (1.38)$$

Отримані значення функції МВП кожного кварталу можна поєднувати з картами лісонасаджень і використовувати як джерело корисної інформації при визначенні повної пожежної небезпеки території, а також під час проектування систем охорони лісів [74].

Основним недоліком таких моделей є відсутність механізму опису природного явища та отриманих співвідношень, тобто вони не

використовуються за межами застосування використаних статистичних даних. В межах таких моделей отримується прогноз з визначеною ймовірністю. Згідно Веберу [52] всі математичні моделі лісових пожеж поділяються на три групи: емпіричні (статистичні), напівемпіричні (імітаційні); фізичні (аналітичні).

Таким чином, проведений аналіз математичних моделей, що досліджують лісові пожежі, лише чотири з них використовуються в програмних комплексах [60-74]. Це емпіричні (статистичні) моделі: McArthur (Австралія) [67], Forestry Canada Fire Danger Group [68], W. Hargrove (США) [69] та напівемпірична (імітаційна) модель Ричарда Ротермела (R. Rothermel, США) [70]. Теоретичні (аналітичні) моделі не використовуються.

#### **1.4. Постановка наукового завдання та часткових завдань досліджень**

Антропогенний чинник має негативний вплив на довкілля. Прояви цих впливів виявляються в забрудненні атмосфери промисловим та побутовим сектором, транспортом та енергетикою, забрудненням ґрунтів важкими металами, вирубка лісів, яка сягає катастрофічних планетарних масштабів. Але найбільшою техногенною катастрофою є масштабні лісові пожежі.

Проаналізувавши причини виникнення лісових пожеж, можна зробити висновок, що заходи щодо їх попередження та нейтралізації вимагають створення складних математичних моделей, що включає проведення моніторингу, передбачає моделювання задач, що є неструктурованими та вимагає використання сучасних інформаційних технологій, математичного моделювання ймовірних сценаріїв розвитку пожеж в залежності від ряду факторів.

Тому для вирішення даної проблеми виникає потреба в прогнозуванні лісових пожеж з визначенням ймовірності їх виникнення в часі та просторі, ґрунтуючись на аналізі даних моніторингу лісів, отриманих завдяки ГІС технологіям та дистанційного зондування Землі.

Дослідження існуючих науково-обґрунтованих підходів в аналізі геоданих для рішення задач оцінки антропогенного впливу на довкілля та, безпосередньо, пов'язаних з розробкою методів та моделей дослідження лісових пожеж, дозволили зробити висновок про формування, за останні роки, нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням інформаційним системам модульності, універсальності, можливості обробки великих об'ємів статистичних даних та проведення складних розрахунків. Розробці геоінформаційних систем присвячені роботи Х.М. Бурштинської [38], О.В. Барабаша [84-87], І.Л. Долинської [38], В.В. Шпурика [3,17], С.С. Кохан [39-40], Г.В. Кучука [32], В.В. Худова [31], В.В. Гнатуценка, Я.В. Шидловської [103] та зарубіжних вчених Grégoire J-M. [41], Pinnock S [41], Jones P.D. [42], Moberg A. [42], C. Donald Ahrens [43] та інших.

Отже, у сучасних умовах важливим завданням є мінімізації ризиків виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса для підтримки управлінських рішень. Це складне завдання доцільно поділити на ряд часткових завдань, одним з яких є обробка геоданих для визначення породного складу лісових та визначення територій уражених пожежами. Існуючі математичні моделі дослідження розповсюдження та нейтралізації лісових пожеж розглядають наслідки розповсюдження пожежі, а не самі причини виникнення. В існуючих математичних методах використовуються складні фізико-математичні розрахунки, які в умовах невизначеностей вимагають велику кількість фізичних характеристик та складних математичних розрахунків.

На підставі проведеного аналізу виявлено існування протиріч між вимогами до математичних моделей та геоінформаційних систем дослідження виникнення лісових пожеж: між практичною реалізацією математичної моделі, що потребує великих об'ємів статистичних даних та складних фізико-математичних розрахунків; між визначенням та нейтралізацією наслідків лісових пожеж при нагальній потребі попередження причин виникнення; у високій вартості космічних знімків високої роздільної здатності; між



дослідженнями локального характеру на невеликих територіях, обмежених окремими пожежами. Дана суперечлива ситуація лежить в основі актуального наукового завдання щодо *розробки науково-методичного апарату прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса в інтеграції з геододатками для підтримки управлінських рішень.*

Метою дисертації є підвищення ефективності (оперативності та достовірності) обробки геоданих з мінімізацією ризиків виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса для підтримки управлінських рішень.

Для досягнення мети в дисертації сформульовано такі *наукові завдання*:

- виконати аналіз математичних методів та моделей моніторингу лісових пожеж;
- дослідити понятійний апарат лісової пірології, та, безпосередньо, встановлені основні причини виникнення лісових пожеж;
- дослідити оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж за тривалий період;
- розробити геоінформаційну базу даних для визначення породного складу деревних насаджень для роботи з космічними знімками;
- розробити математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж;
- удосконалити метод дешифрування супутникових знімків для визначення територій уражених пожежами та ідентифікації згарищ;
- розробити математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса;
- провести моделювання для підтвердження достовірності отриманих наукових результатів обробки та дешифрування космічних знімків для встановлення територій вражених пожежами.

Розв'язання даної наукового завдання можливо шляхом застосування розроблених у дисертації моделей та методів прогнозування виникнення лісових пожеж в інтеграції з геододатками.

## Висновки до розділу 1

Розділ містить короткий аналіз розповсюдження та прогнозування виникнення лісових пожеж, заснований на роботах вітчизняних і закордонних фахівців. Проводиться аналогія між досліджуваними геоінформаційними системами дослідження стану рослинності. Проаналізовано основні математичні методи та моделі дослідження розвитку та нейтралізації лісових пожеж. Для створення прогнозної моделі та встановлення вихідних параметрів необхідне розуміння розповсюдження лісових пожеж. Досить обґрунтованим є використання математичних методів та програмних засобів.

Проведений аналіз фундаментальних експериментальних досліджень негативних впливів від лісових пожеж підтвердив складність процесу та необхідність комплексного підходу. На основі визначених переваг і недоліків встановлено необхідність застосування сучасних методів та технологій ГІС, так як моделювання пожеж ефективно лише в інтеграції з геоодатками.

Дослідження існуючих систем відслідковування змін в екосистемах Землі, довів, що існує серйозний дефіцит комп'ютерних систем для аналізу та візуалізації екологічних даних. Деякі з них є повністю платними й недоступні для скачування безкоштовної версії. Інші відстежують в межах певних країн лісові займання. Ні одна система не має функціоналу для виявлення залежностей в даних, якими оперує, і не займається їх прогнозуванням. Окрім цього застосунки не мають зворотного зв'язку, а саме підтримки користувачів в режимі реального часу. Натурні моделі не дають змоги повністю дослідити процеси, пов'язані з виникненням та поширенням лісових пожеж, тому актуальним є використання математичних моделей.

Аналіз існуючого програмного-алгоритмічного забезпечення доводить нагальну потребу у розробці нового науково-методичного комплексу, що сприятиме прогнозуванню та попередженню виникнення катастрофічних явищ, а також швидкому реагуванню та прийняттю раціональних управлінських рішень.

## РОЗДІЛ 2

### АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ ОЦІНКИ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Для моделювання досліджуваної системи необхідні наступні складові:

- дані – базова інформація, до якої належать статистичні вибірки даних, серія космічних знімків, отриманих внаслідок ДЗЗ;
- ознаки – визначення характеристик, властивостей та потреб, які необхідні для досліджування системи;
- алгоритм – вибір метода для рішення поставленої задачі [84].

Інформація про просторовий і часовий розподіл територій уражених лісовими пожежами, таксаційні характеристики та статистичні температурні дані є важливою основою для створення прогностичної моделі Байєса.

Для прогноза виникнення лісової пожежі важливу роль відіграють температурні показники стану атмосфери.

Класифікація лісових насаджень допомагає визначати породний склад дерев, на основі якої формується класи пожежної небезпеки для кожного кварталу.

Таксаційні характеристики формують основу для створення прогнозу розвитку пожежі. Ця інформація під час моделювання пожежних режимів на регіональному рівні переважно одержуються на основі дешифрування даних ДЗЗ, використовуючи тематичні класи земного покриття, що можуть бути безпосередньо інтерпретовані як певний тип моделей горючих матеріалів відповідно до атласа [124].

Даний розділ вміщує поетапну реалізацію методів та алгоритмів, результатом яких є *розробка науково-методичного апарату прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі в інтеграції з геододатками для підтримки управлінських рішень.*

## **2.1. Оцінка впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж**

Створення математичної моделі оцінки впливу температури навколишнього середовища на ймовірність виникнення лісових пожеж базується на аналізі довгострокового періоду кліматичних статистичних даних. До функціоналу системи належить аналіз статистичних даних, їх класифікації та виведення прогнозованого результату на основі довгострокових статистичних температурних даних метеостанції, яка розташована на найближчій відстані від місця досліджень. Універсальність полягає в зручному доступі користувача до інтерфейсу для роботи з системою, що надає можливість вибору, коригуванню статистичних даних, надання нових параметрів, які будуть враховані під час обробки інформації.

Досліджуються надвеликі різноманітні масиви цифрових даних в тісному нерозривному зв'язку з інформаційними технологіями.

Функціональна послідовність дій полягає в:

1. Збереженні, форматуванні, управлінні даними.
2. Об'єднанні даних в нові представлення.
3. Забезпеченні доступу до масивів агрегованих даних.

Клімат є одним з основних елементів природного середовища. Температура безпосередньо впливає на стабільність атмосфери, випаровування, опади та багато інших умов життя. Зміна температури впливає на умови життя, сільське господарство, промисловість, туризм та інженерні конструкції. Атмосферна температура необхідна для планування та прогнозування як у середній, так і в варіаційній складових температури, щоб запобігти небезпеці для життя та фінансів [77,91].

На основі дослідження довгострокових тенденцій максимальної, мінімальної та середньорічної температури повітря, наприклад, у північно-західному регіоні України протягом двадцятого століття, тенденції зростання

спостерігаються як у середньому, так і в добовому діапазоні температур. Максимальні добові температури зросли швидше, ніж зниження низьких температур у минулому столітті, що призвело до підвищення середньої температури приблизно на  $1,6^{\circ}\text{C}$ . Екстраполяція на наступне століття дасть збільшення глобальної середньорічної температури приблизно на  $3^{\circ}\text{C}$  до  $5^{\circ}\text{C}$ . Більш точний підхід прогнозування може дати інший результат. Однак важко проаналізувати тенденції зовнішньої температури, які повільно змінюються, оскільки знаходяться в межах великої амплітуди гармонійних, циклічних коливань, а також стохастичних та/або хаотичних змін [83].

Спостережувана температура зовнішнього повітря  $T(t, \tau)$  включає як сезонні компоненти, представлені  $t$  (днями року), так і  $\tau$  (години в день  $t$ ). Температура зовнішнього повітря має регулярні сезонні коливання для середньодобової температури протягом кожного року (точніше, кожні чотири роки як період часу) і погодинні коливання протягом будь-якого дня для середньогодинної температури. Ці два компоненти мають регулярний і періодичний характер, зумовлений обертанням Землі. Спостерігаються інші регулярні зміни, спричинені негативними антропогенними діями, що проявляються в підвищенні теплового балансу планети.

Для опису сезонних коливань температури використовується середньодобова температура  $T_a(t)$ , яка визначається як інтегральне середнє значення:

$$T_a(t) = \frac{1}{T} \int_0^T T(t, \tau) d\tau, \quad (2.1)$$

де  $t$  – дні,  $\tau$  – години в добі,  $\tau \in [0, T]$ ,  $T=24$ .

Якщо доступна середньогодинна температура, то (2.1) дає точне значення середньодобової температури, що означає термодинамічну енергію повітря. Якщо середня добова температура отримана від метеорологічної служби, дані можуть бути надані попередньо розрахованими за стандартною моделлю, яка забезпечує середнє значення максимальних і мінімальних добових температур

повітря. Стандартна модель може бути неточною, якщо зміна температури не є симетричною між днем і ніччю. Тим не менш, зручність використання стандартної моделі замість використання погодинних даних температури для кожного дня та використання виразу (2.1) може переважити задоволення щодо точності середньої добової температури.

Для моделювання середньодобової зміни температури повітря виділено дві складові. Перша компонента  $T_R(t)$  описує регулярний тренд, виражений функціями часу та констант, що не змінюються з часом, протягом якого визначено модель. Регулярна тенденція визначається як стаціонарна протягом тривалого періоду часу, характерна для даного фізичного місця, керована детермінованими причинами, такими як рух Землі в Сонячній системі. Друга компонента  $T_s$  – це випадкова стохастична варіація навколо регулярного тренду. Компонента  $T_s$  спричинена стохастичним та/або хаотичним процесом в атмосфері, що визначається як різниця між спостережуваною температурою зовнішнього повітря  $T_a(t)$  і температурою від моделі стаціонарного тренду  $T_s = T_a - T_R$ . Середнє добове значення зовнішньої температури будь-якого дня обчислюється за формулою:

$$T_a(t) = T_R(t) + T_s. \quad (2.2)$$

Зауважимо, що стохастичний компонент є стаціонарним і не залежить від сезонних коливань, це значно спрощує модель.

Аналітична функція для  $T_R(t)$  має найкращим чином відповідати вимірним даним зовнішньої температури для даного місця. Існують різні варіанти моделювання даної компоненти із показником середньої температури  $T_m$ .

Перша модель є лінійною функцією  $T_R(t) = T_m + ct$ . Вона має найменші коефіцієнти і може бути використана для опису середньорічної зміни

температури. Однак вона не має здатності відображати будь-які періодичні коливання температури.

Друга модель є загальною функцією ряду Фур'є  $T_R(t) = T_m + \sum A_{\omega_i} f(t)$ . Середньорічна температура та амплітуди для попередньо вибраної скінченної кількості частот є постійними. Це може бути точним протягом короткого періоду часу, наприклад, одного року. Дана модель не може відображати довгострокове середнє значення, максимальну та мінімальну температуру, що змінюється з часом.

Третя модель є оновленою функцією другої моделі з функцією  $T_R(t) = T_m(t) + \sum A_{\omega_i} f(t)$ . Вона має змінну середньорічну температуру з часом. Однак вона ще не має здатності відображати максимальні та мінімальні зміни температури з часом.

Четверта модель має функцію  $T_R(t) = T_m + \sum A_{\omega_i}(t) f(t)$  та вдосконаленою формою порівняно з другою моделлю з точки зору можливості варіації максимальної та мінімальної температур, але все ще використовує постійну середньорічну температуру.

П'ята модель поєднує в собі переваги моделей третього та четвертого типів і має функцію  $T_R(t) = T_m(t) + \sum A_{\omega_i}(t) f(t)$ .

Перша модель використовується для порівняння з іншими моделями для оцінки коливань середньорічної температури. Друга модель зі стаціонарною постійною середньою температурою та постійними амплітудами є непридатною для практичного застосування і не використовується для порівнянь. Модель четвертого типу не рекомендується і не досліджується для стислості, оскільки пята модель дає кращий результат за тих самих зусиль. Тому для порівняння під час тестування моделі використовуються лише перша, третя та пята моделі.

Обробка масивів даних відбувається з використанням описової математичної статистики [79,80].

Для аналізу статистичних температурних даних використовують числові характеристики:

- міри центральної тенденції – фіксують центр, навколо якого розподіляються досліджувані дані;
- дисперсія та середнє квадратичне відхилення – описують розподіл даних навколо центра.

Мірами центральної тенденції є середнє арифметичне, медіана та мода.

Середнє арифметичне (загальна середня) – сума значень, яка ділиться на кількість спостережень [79]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.3)$$

Середнє значення характеризує симетричність розподілу без викидів. Симетричність означає, що кількість елементів вище середнього повинно бути приблизно таким же, як і кількість нижче. Відсутність викидів означає, що діапазон значень є монотонним.

Медіана – це середнє значення у впорядкованому наборі даних [79]. Вище медіани знаходиться стільки ж значень, скільки і нижче. Медіана зазвичай лежить досить близько до середнього арифметичного в симетричних розподілах, проте може бути розташована і далеко. Вона найкраще підходить для зміщених розподілів або розподілів з викидами.

Для непарної кількості елементів медіана визначається середнім елементом  $Me = x_{(n+1)/2}$ , а для парної кількості – середнім значенням центральних сусідніх елементів  $Me = \frac{x_{n/2} + x_{(n/2)+1}}{2}$ .

Медіана займає проміжне положення між модою і середнім значенням з погляду підрахунку [80]. Ця міра особливо легко визначається для ранжированих даних.



Мода – це елемент, який зустрічається серед емпіричних даних найчастіше [80]. Зазвичай, вона не близька до центру. Для дуже великих груп даних мода є досить стабільною мірою центру розподілу. При визначенні моди можливі випадки:

- мода відсутня, якщо для всіх елементів частота появи однакова;
- варіанти суміжні й мають однакові частоту, тому мода визначається як середнє значення сусідніх варіант;
- варіанти несуміжні, то може бути декілька мод;
- емпіричні дані мають великі та малі моди.

На графіках розподілу мода – це варіанта з максимальною частотою.

Міри центральної тенденції для характеристики великих даних мають обмеженість [80]. Тому для більш детального аналізу вибірки використовують дисперсію. Найбільш поширеною мірою дисперсії є середнє квадратичне відхилення  $\sigma$ , яке обчислюється як сума квадратів різниць між окремим елементом і середнім значенням:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m n_i (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (2.4)$$

З нею зв'язана статистична величина – дисперсія  $D$ , яка є квадратом середнього відхилення, тобто  $D = \sigma^2$ . Сума квадратів у формулі для  $\sigma$  означає, що значення  $d = x_i - \bar{x}$  із середнього вносить в дисперсію стільки ж, скільки й  $d^2$  із середнього, тому дисперсія дуже чутлива до викидів.

Дисперсія служить мірою однорідності сукупностей емпіричних даних [80]. Чим вища однорідність, тим нижче значення дисперсії. Для повністю однорідних сукупностей дисперсія дорівнює нулю.

Якщо всі значення ознаки  $X$  розбиті на  $k$  груп, то можна знайти групову дисперсію відносно групового середнього:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m n_i (x_i - \bar{x}_j)^2}{N_j}, \quad (2.5)$$

де  $n_i$  – частота значень  $x_i$ ,  $j$  – номер групи,  $\bar{x}_j$  – групова середня величина групи  $j$ ,  $N_j = \sum_{i=1}^m n_j$  – об'єм групи  $j$ .

Знаючи дисперсію кожної групи, можна знайти їх середню арифметичну.

Внутрішньогрупова дисперсія – це середня арифметична дисперсія, взята по об'ємах груп:

$$D_{внгр} = \frac{\sum N_j D_j}{n}, \quad (2.6)$$

де  $N_j$  – об'єм групи  $j$ ,  $n = \sum_{j=1}^k N_j$  – об'єм всієї сукупності.

Знаючи середні групові величини та загальну середню величину, визначається дисперсія групових середніх відносно загальної середньої.

Дисперсію групових середніх відносно середнього арифметичного називають міжгруповою дисперсією:

$$D_{міжгр} = \frac{\sum_{j=1}^m N_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2}{n}, \quad (2.7)$$

де  $\bar{x}_j$  – групова середня групи  $j$ ,  $N_j$  – об'єм групи  $j$ ,  $\bar{x}$  – середня величина,  $n = \sum_{j=1}^k N_j$  – об'єм всієї сукупності.

Якщо сукупність складається з декількох груп, то загальна дисперсія дорівнює сумі внутрішньогрупової та міжгрупової дисперсій.

Таким чином, реалізація алгоритма дозволить визначити рівень пожежної небезпеки окремих сезонів та чергування цих періодів в межах сезонів, пов'язаних зі змінами погоди.

## 2.2. Обробка знімків, отриманих за допомогою космічних супутників методом ДЗЗ

Стрімкий розвиток геоінформаційних систем (ГІС) та засобів космічного дистанційного зондування Землі сприяє розробці нових методів оцінки лісових насаджень та визначення площ, уражених лісовими пожежами, їх кількісну характеристику [89, 95].

Моніторинг лісових насаджень здійснюється завдяки супутниковим системам:

- супутники Terra з встановленими спектр радіометрами Modis;
- супутники Landsat TM/ETM;
- супутники NOAA/AVHRR.

Кожна група супутників має свої вибіркові функції і використовується в конкретному випадку. Landsat застосовується для моніторингу і прогнозування процесів опустелювання та заболочення, паводків і повеней та контролю лісових пожеж, визначення впливу на лісові насадження шквальних вітрів. NOAA і Terra використовуються для виявлення осередків шкідливих організмів [90].

Дистанційне зондування космічного знімку характеризується наступними параметрами:

- просторовий та спектральний дозвіл;
- радіометричний дозвіл;
- тимчасовий дозвіл [87].

Головною характеристикою космічних знімків для оцінки придатності зображень для картографування, є просторова розрізненість, яка визначається розміром найменшого ( $\Delta$ ), відтвореного на знімку, і визначається за формулою  $\Delta = m / 2N$ , де  $m$  – масштаб знімка,  $N$  – роздільна здатність знімка, тобто число окремо фотографічно відтворюваних чорно-білих штрихів на відрізу довжиною 1 мм [90].

З урахуванням використання цифрової обробки даних космічного знімку, дешифрування зводиться до розрахунків геометричних властивостей об'єктів, що дешифруються. Тобто використовується візуальне (експертне) та автоматичне дешифрування.

Тематична обробка даних ДЗЗ – метод покращення зображення з регулювання контрасту, зменшення шуму, обрізання країв знімку з метою вирішення визначеної проблеми. В процесі даної обробки виконується класифікація об'єктів за космічними зображеннями відповідно їх характеристикам [88].

Тон або ж яскравість кадру космічного знімку залежить від переліку фізичних особливостей об'єкту. На тих знімках, які зроблені у видимій ділянці спектру, тон формується за рахунок відбивних особливостей об'єкту та його освітленості. На знімках, які є інфрачервоними, яскравість визначається за рахунок теплового фону об'єкту. Отримані у видимій ділянці спектру знімки мають близько 10–12 градацій яскравості. Її кількість, як правило, залежить від якості знімального приладу. Для інфрачервоного знімка, в свою чергу, вирішальним параметром тону є температура об'єкту. На яскравість зображення найбільше впливає такий фактори, як висота об'єкту. Яскравість зображень не є достатньою одиницею для якісного дешифрування, за допомогою якої є можливість розрізняти хмари від суші чи моря. Найбільшу кількість інформації несуть виразні зміни тону на знімку, які окреслюють структуру зображення. Вона формується за рахунок просторової неоднорідності поля випромінювання і обумовлений розміром візованих об'єктів і енергетичною розбіжністю між ними [124].

В якості початкової інформації для створення баз даних різних систем ГІС використовується віддалене збирання даних.

### 2.2.1. Класифікація космічних знімків

При автоматичній класифікації відбувається процес розбиття пікселів безперервного растрового зображення на категорії відповідно спектральним значенням, з присвоєнням кожному пікселю нового значення [89-90].

Для реалізації автоматичної класифікації визначені два підходи: керована класифікація і некерована (кластеризація), що відображені на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Методи автоматичної класифікації

За керованої класифікації спостерігається аналіз пікселів в кожному еталонному полігоні і утворення спектральних сигнатур по кожному типу покриття. Класифікація зображення відбувається на основі порівняння спектральних значень пікселів зі створеними сигнатурами [92]. Головні характеристики методів автоматичної класифікації наведені в табл. 2.1

Таблица 2.1

Методи автоматичної класифікації

Назва методу	Навчання з вчителем	Швидкість	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
Метод мінімальної відстані	Присутній	Швидкий	Відсутність некласифікованих пікселів п результаті класифікації	Дисперсія між сигнатурами еталонних полігонів не врахована

Продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5
Метод максимально ї вірогідності	Присутній	Повільний	Принцип дії на ймовірнісних характеристиках , що підвищує його точність	Потреба в нормалізації для сигнатури з великим значенням коваріації, які сильно виділяються
ISODATA	Відсутній	Швидкий	Відсутні попереднє навчання та залежність від людського фактора	Подальше об'єднання або розбиття кластерів користувачем через невідповідність створених кластерів необхідним класам
K-means	Відсутній	Швидкий	Розуміння класу відповідності для частини точок, злагоджена робота з частково „навченими” кластерами	Використання інших методів кластеризації для отримання кластерів та початкового розбиття для уточнення їх кількості

Для класифікації породного складу лісових насаджень використовується метод максимальної вірогідності, що ґрунтується на ймовірнісних принципах класифікатора Байєса [96].

Вектор з  $n$  вимірів, який отримується багатоспектральним сканером для кожного елемента на Землі, може бути представлений точкою  $n$ -вимірного простору. Коли представляється декілька таких векторних просторів, які умовно відносяться до одного типу покриття земної поверхні, але отриманих для різних точок Землі, ймовірно, що вони розташуються у вигляді

локалізованого кластера або хмари точок. Дане явище властиве для даних дистанційних досліджень і є результатом властивих природі випадковостей. Кластери, які відносяться до конкретних типів земного покриття, зазвичай, більш або менш помітні, і в таких випадках можна зв'язати локалізовані області простору з конкретними типами земної поверхні [92].

Задача проектування класифікатора образів складається з:

- розбиття простору на області рішень так, щоб кожна область відносилася до визначеного класу;
- створення класифікатора, який може ототожнювати будь-який вектор простору як такий, що відноситься до класу, який відповідає той області рішення, в яку попадає.

Нехай є  $m$  класів і вони визначені відповідними класами області рішення. Потрібно знайти множину дискримінантних функцій  $g_1(X), g_2(X), \dots, g_m(X)$ , які мають властивість, що  $g_i(X)$  має більше значення, ніж всі інші дискримінантні функції, кожен раз, коли  $X$  – точка в  $i$ -тій області рішення. Далі потрібно класифікувати кожну точку  $X_u$ , вичисливши величини  $g_1(X_u), g_2(X_u), \dots, g_m(X_u)$ . Точка  $X_u$  належить класу, який має найбільше значення дискримінантної функції. Після визначення дискримінантні функції можуть бути використані для побудови класифікатора [94].

*Правило класифікації.* Нехай  $\omega_i$  –  $i$ -тий клас.  $X$  належить класу  $\omega_i$  тоді і тільки тоді, якщо для всіх класів виконується  $g_i(X) \geq g_j(X)$ , де  $i = j = 1, 2, \dots, m$ . Нехай  $p(X | \omega_i)$  – функція щільності ймовірностей, яка залежить від вектору простору  $X$ , при умові, що  $X$  належить до образів  $i$ -го класу, тобто ймовірність спостереження образу із класу  $i$ , незалежно від іншої інформації. Вирішальним є правило по максимуму правдоподібності. Нехай  $X \in \omega_i$  тоді і тільки тоді, коли  $p(X | \omega_i)p(\omega_i) \geq p(X | \omega_j)p(\omega_j)$  для всіх  $i = j = 1, 2, \dots, m$ . Величина

$p(X|\omega_i)$  називається функцією правдоподібності для  $i$ -го класу. Отже, щоб класифікувати образ  $X$  до певного класу, використовуючи правило максимуму правдоподібності, за яким обчислюється добуток  $p(X|\omega_i)p(\omega_i)$  для кожного класу  $i$  серед них вибирається найбільший. Набір добутків  $p(X|\omega_i)p(\omega_i)$  утворює набір дискримінантних функцій. Наприклад, за даними дистанційного зондування потрібно отримати поточкову класифікацію області, яка складається з рослинності, ґрунту та води [94]. Наземні спостереження показують, що 60% області складає рослинність, 20% – ґрунт і 20% – вода, тобто

$$p(\omega_1) = p(\text{рослинність}) = 0,6,$$

$$p(\omega_2) = p(\text{ґрунт}) = 0,2,$$

$$p(\omega_3) = p(\text{вода}) = 0,2.$$

Функції розподілу ймовірностей  $p(X|\text{рослинність})$ ,  $p(X|\text{ґрунт})$ ,  $p(X|\text{вода})$  можна оцінити, якщо припустити, що кожний клас має багатовимірну нормальну щільність ймовірностей, та обчислити математичне сподівання і коваріаційні матриці по заданій вибірці [94].

Система розпізнавання образів класифікує кожний образ, представлений нею, в один з класів, для розпізнавання яких вона створена, тобто в один з класів, для якого була визначена дискримінантна функція. У всіх задачах дистанційного дослідження є деяке число точок, які належать області, що класифікується, які насправді не відносяться ні до одного з цих класів. Ці точки можуть належати класам, які не мають достатнього числа навчальних образів для оцінки параметрів, або класів, які раніше не були помітні. Хоча такі точки не можуть бути правильно класифіковані, так як відсутні дискримінантна функція, яка відповідає відповідному класу, можна зробити так, щоб класифікатор виявляв їх, якщо спектрально вони відрізняються від точок «дійсних» класів [94].



Таким чином, для відтворення алгоритмів керованої класифікації при створенні еталонних полігонів необхідна додаткова інформація про об'єкти космічного знімку.

### **2.2.2. Особливості дешифрування космічних знімків**

Детектування локації лісової пожежі виключає фактор виникнення та сприяє подальшій її нейтралізації на початкових стадіях. Моніторинг потенційно небезпечних ділянок вирішує дану проблему, так як щоденні дані супутникових досліджень земної поверхні, застосовують для ефективного моніторингу природних пожеж. Сучасні геоінформаційні технології дозволяють синтезувати з космічними даними безліч іншої супутньої інформації [87-92].

Моніторинг лісових насаджень здійснюється завдяки супутниковим системам [93]:

- супутники Terra з встановленими спектр радіометрами Modis;
- супутники Landsat TM/ETM;
- супутники NOAA/AVHRR.

Дані про масштаби лісових пожеж є інформаційною складовою визначення первинних та вторинних пожежних емісій вуглекислого та інших шкідливих газів в атмосферу, які досліджуються згідно умов Стратегії сталого розвитку та наукових досліджень, пов'язаних з глобальними змінами клімату [94].

Лісове дешифрування матеріалів аерокосмічних знімків – це процес детектування лісових об'єктів, які містять в собі знімок, та встановлення їх кількісних і якісних характеристик. Серед лісового дешифрування виділяють наступні типи: візуальне (аналітичне), вимірювальне, автоматичне (машинне), а також комплексне аналітично-вимірювальне або автоматизоване (інтерактивне, людино машинне) [95-98].

Автоматичне дешифрування виконуються шляхом розпізнавання кількісних і якісних ознак об'єкта, використовуючи його спектральні та морфометричні характеристики. В даному випадку дешифрування проводиться завдяки технічними засобами обробки зображень. При таких обставинах, роль людини полягає в проектуванні та створенні відповідної системи, що дозволяє визначати конкретні завдання та обробляти дані зі знімків, використовуючи відповідні технології, а також в підтримці коректної роботи інформаційної системи [96].

При розшифруванні космічного знімку застосовуються спеціальні дешифрувальні ознаки. Ключовими дешифрувальними ознаками, які дають можливість розпізнавати знімки різного типу та земної поверхні є:

- яскравість;
- рисунок зображення.

Дешифрувальні показники описують можливість знімальної системи до високоякісного передавання текстури, кольору та інших радіометричних характеристик. Розмір пікселя на землі, що дає та чи інша знімальна система, залежить від якості самої системи та висоти польоту космічного апарату [96].

Для коректного та об'ємного дешифрування космічних знімків необхідно враховувати логіку процесів відбиття у видимій ділянці спектра, випромінювання в ІЧ (інфрачервоному) та мікрохвильовому діапазонах, відбивні та випромінювальні ознаки різних поверхонь, а також особливі структурні якості об'єктів і підстилаючої поверхні. В якості початкової інформації для створення баз даних різних систем ГІС використовується віддалене збирання даних [96].

Обробка дистанційного зондування складається з підготовчого й тематичного етапів, що здійснюються в спеціальному програмному забезпеченні. Попередня обробка даних ДЗЗ включає радіометричну, геометричну корекцію атмосферного зображення [97].

Тематична обробка даних ДЗЗ-метод покращення зображення з регулювання контрасту, зменшення шуму, обрізання країв знімку з метою вирішення визначеної проблеми. В процесі даної обробки виконується класифікація об'єктів за космічними зображеннями відповідно їх характеристикам [97].

Тон або ж яскравість кадру космічного знімку залежить від переліку фізичних особливостей об'єкту. На тих знімках, які зроблені у видимій ділянці спектру, тон формується за рахунок відбивних особливостей об'єкту та його освітленості. На знімках, які є інфрачервоними, яскравість визначається за рахунок теплового фону об'єкту. Отримані у видимій ділянці спектру знімки мають близько 10–12 градацій яскравості. Її кількість, як правило, залежить від якості знімального приладу. Для інфрачервоного знімка, в свою чергу, вирішальним параметром тону є температура об'єкту. На яскравість зображення найбільше впливає такий фактори, як висота об'єкту. Яскравість зображень не є достатньою одиницею для якісного дешифрування, за допомогою якої є можливість розрізняти хмари від суші чи моря. Найбільшу кількість інформації несуть виразні зміни тону на знімку, які окреслюють структуру зображення. Вона формується за рахунок просторової неоднорідності поля випромінювання і обумовлений розміром візованих об'єктів і енергетичною розбіжністю між ними [98].

### **2.2.3. Виявлення територій лісів, уражених пожежами, за допомогою космічних знімків**

На сьогоднішній момент не існує «ідеального» супутника, зображення з якого мали б просторове, часову і спектральну роздільність та продуктивність, що дозволяють вирішувати всі завдання моніторингу стану насаджень. В дослідженнях використовуються набори різних даних:

- MODIS – для оперативного виявлення великих пошкоджень в однорідних лісових масивах важкодоступних районів в автоматичному режимі.

- Landsat, SPOT-4 – для продуктивного і у високому ступені автоматизованого виявлення та оцінки площі відносно великих пошкоджень один або кілька разів на рік на великих площах.

- RapidEye – для виявлення порушень в змішаних, неоднорідних насадженнях, пошкоджень, що представляють собою мозаїку дрібних пошкоджених і здорових ділянок, виявлення дефоліації порід, що швидко відновлюють листя.

- GeoEye, WorldView-2 і т.д. – для моніторингу обмеженої площі особливо цінних лісів.

Супутники з високим просторовим розрізненням особливо необхідні для моніторингу наслідків пожеж [97]. Види супутників, що можуть визначати осередки пожеж, представлено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Види супутників для визначення пожеж

Космічний апарат	NOAA/AVHRR	TERRA(AQUA)/MODIS	LANDSAT/TM (ETM+)	TERRA/ASTER
Оглядовість, км	3000	2330	184	60
Радіометричне розрізнення, біт	10	12	8	NIR – 8 SWIR – 8 TIR – 12
Просторове розрізнення, м	1100	NIR – 250-1000 SWIR – 500 TIR – 1000	NIR – 30 SWIR – 30 TIR – 60	NIR – 15 SWIR – 30 TIR – 90
Кількість спектральних каналів в інфрачервоному у діапазоні	NIR – 1 SWIR – 1 TIR – 2	NIR – 6 SWIR – 3 TIR – 16	NIR – 1 SWIR – 2 TIR – 1	NIR – 1 SWIR – 6 TIR – 5

Для визначення території пожежі використовують методи, які базуються на використанні окремих спектральних каналів, що дозволяють проводити аналіз температур яскравості. Локальне підвищення температури в місці загорання є головною підставою для пошуку пожежі. Ефективно та точно визначити межі теплових аномалій допомагає вчасне виявлення вогнищ пожеж шляхом візуального способу, проте в загальному випадку дані межі будуть різними. Димовий шлейф використовують як основну ознаку при дешифруванні лісових пожеж для визначення наявності вогнища горіння в видимому спектрі. Своєю формою на знімку вогнище може нагадувати конус світло-сірого кольору [97].

Космічні методи стеження за ЛП допомагають виявляти їх на початковій стадії і забезпечують оперативне прийняття рішень, що сприяє здійсненню моніторингу і оцінці наслідків. Використання космічних даних для моніторингу пожежного стану дозволяє швидко й економічно отримувати об'єктивну і незалежну інформацію, щоб оперативно приймати рішення для боротьби зі стихією. Використання космічних знімків дає можливість не тільки виявляти пожежі на деяких територіях, а й проводити їх первинну класифікацію за площею згорання, а використання багатоспектральних даних у різному поєднанні каналів знімання – спостерігати за димовими полями забруднення, оцінювати області розповсюдження продуктів горіння [98].

Є два головні джерела даних про пожежну активність, які характеризуються специфічними підходами: активні вогнища горіння і пошкоджені пожежами площі територій. Але підхід до детектування вогнищ характеризується певною кількістю обмежень і не може бути використаний для оцінювання просторового охоплення пошкоджених вогнем територій, зокрема через те, що в момент активного горіння супутник часто не перебуває у точці, необхідній для детектування, або вона закрита від нього через хмарність. Тому виникає потреба в даних про пошкоджені пожежами території.

Метою дослідження є аналіз космічних знімків низької розрізняювальної здатності та виявлення потенційно пожежних пікселів, виключаючи з аналізу фрагменти знімків, покритих хмарами та зайнятих водними об'єктами [97].

Метод базуються на наступних принципах:

- аналіз розподілу сигналу в межах визначених спектральних каналів апаратури спостереження;
- межеве правило віднесення ділянки зображення (або пікселя) до відповідного класу;
- статистичний аналіз розподілу спектральних характеристик окремих ділянок зображення (або пікселів);
- аналіз вірогідності віднесення зареєстрованого сигналу до відповідного класу.

Для визначення потенційно-пожежних пікселів (PF) існує ряд алгоритмів. Вони базуються на оцінках яскравісної температури в спектральних діапазонах від 3.5–4 до 10.5 – 11.5 мк.

Ці алгоритми поділяють на дві групи – порогові і просторові (контекстні). Порогові алгоритми чутливі до умов конкретної місцевості, пори року, часу доби, типу рослинності, температури ґрунту тощо. Контекстні алгоритми базуються на порівнянні яскравісної температури потенційно-пожежного пікселя з яскравісною температурою вільних від хмар оточуючих пікселів. Даний алгоритм враховує просторову зміну теплового фону, на відміну від одноканального або багатоканального алгоритму порогового розділення [99].

Для ідентифікації «пожежних пікселів» важливо виключити з аналізу фрагменти знімків, які покриті хмарами та зайняті водними об'єктами.

Важливо розділити методи аналізу в денний і нічний час. В денний час пікселі вважаються затемненими, якщо виконується одна з умов:

$$\rho_{0.65} + \rho_{0.85} > 0.9, T_{12} < 265K, \quad (2.7)$$

$$\rho_{0.65} + \rho_{0.85} > 0.7, T_{12} < 285K, \quad (2.8)$$

де  $T_{12}$  – яскравісна температура в спектральному діапазоні 11-12 мк, а  $\rho_{0.65}$  та  $\rho_{0.85}$  – коефіцієнти відбиття.

Алгоритм реалізації методу ідентифікації пожеж представлений на рис. 2.2.

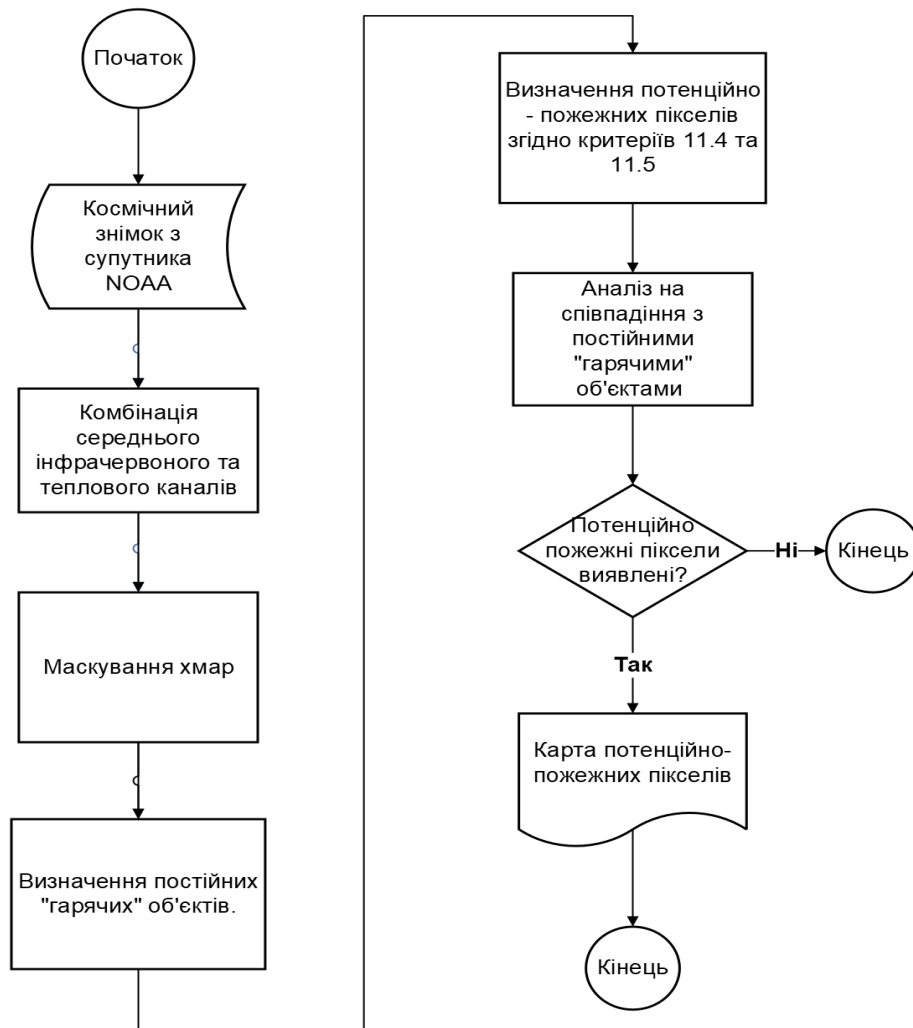


Рис. 2.2. Алгоритм реалізації методу ідентифікації пожеж

У нічний час пікселі позначались як хмара, якщо задовольнялась умова  $T_{12} < 265K$ . Встановлено, що ці прості критерії бути достатніми для ідентифікації більших, прохолодних хмар, але не враховувались невеликі хмари та краї хмар.

Основою алгоритму виявлення потенційно «пожежних» пікселів є ідентифікація пікселів, в яких спостерігається одночасне активне горіння

одного або декількох вогнищ пожеж в момент проходження супутника над земною поверхнею.

Аналогічно до більшості інших супутникових алгоритмів виявлення пожежі, даний підхід використовує випромінювання середньо-інфрачервоного та довгохвильового інфрачервоного діапазонів на знімку, що містить гарячі субпіксельні об'єкти. Алгоритм вимагає значного збільшення випромінювання в діапазоні 4 мікрометрів, а також відносного спостережуваного випромінювання в діапазоні 11 мікрометрів. Ця характерна активна ознака пожежі визначається значною різницею яскравісної температури абсолютно чорного тіла в спектральних діапазонах 4 мк та 11мк, що виділяється при горінні.

Алгоритм досліджує кожен піксель сцени MODIS, якому в результаті присвоюється один з наступних класів: відсутні дані, хмара, вода, потенційно пожежні або невизначені. Пікселі, в яких відсутні фактичні дані, негайно класифікуються як «відсутні дані» (NULL) та виключено з подальшого розгляду. Пікселі хмар та водних об'єктів, що визначаються за допомогою методики маскування хмар і водних об'єктів, належать до класів хмар та води відповідно. Алгоритмом виявлення пожежі досліджуються лише ті пікселі земної поверхні, які віднесені до потенційно пожежних або невизначених.

#### Ідентифікація потенційно-пожежних пікселів

Попередня класифікація використовується для усунення ймовірно непожежних пікселів. Решта пікселів враховуються в подальших випробуваннях, з метою визначення приналежності до активної вогняної фази.

Денний піксель ідентифікується потенційним пікселем пожежі, якщо виконуються умова (2.9):

$$\begin{cases} T_4 > 310K, \\ \Delta T > 10K, \Delta T = T_4 - T_{11}, \\ \rho_{0,86} < 0.3, \end{cases} \quad (2.9)$$



де  $T_4$  – яскравісна температура в спектральному діапазоні 4 мк,  $T_{11}$  – яскравісна температура в спектральному діапазоні 11 мк,  $\rho_{0,86}$  – коефіцієнт відбиття сонячного проміння. Для нічних пікселів тест відбиття пропущено, а  $T_4$  зменшено до 305 К. Пікселі, що не відповідають умовам попередніх тестів, терміново класифікуються як «пожежні» пікселі.

Існує два логічні підходи завдяки яким ідентифікуються «пожежні» пікселі.

Перший складається з простого абсолютного порогового тесту. Цей поріг повинен бути встановлений досить високим, щоб спрацювали лише дуже однозначні пожежні пікселі, тобто ті, що не можуть стати помилковою тривоگو.

Другий підхід представлений серією розроблених контекстних тестів виявлення більшості активних «пожежних» пікселів, які становлять найменшу ймовірність.

Абсолютний пороговий критерій залишається ідентичний оригінальному алгоритму (Kaufman, Justice et al., 1998) [3,11]:

- $T_4 > 360\text{K}$  – в денний час;
- $T_4 > 320\text{K}$  – в нічний час.

Незважаючи на високий денний поріг, корисність цього тесту залежить від кута відбиття сонячних променів над горизонтом, так як можуть виникати помилкові тривоги, спричинені відблиском певних об'єктів. Нічні пікселі визначаються як такі, що мають кут Сонця більше  $85^\circ$ .

#### Фоновий алгоритм

Спроба використання сусідніх пікселів для оцінки радіометричного сигналу потенційного «пожежного» пікселя є наступним етапом алгоритму, який виконується незалежно від результату абсолютного порогового тесту. За фонові значення у вікні приймаються дійсні сусідні пікселі, де центральним є піксель, що ідентифікується, як потенційно «пожежний». У цьому вікні дійсними вважаються пікселі, які відповідають наступним вимогам:

- містять корисні спостереження;
- розташовані на суші;
- не забруднені хмарами;
- не є фоновими «пожежним» пікселям.

«Пожежними» називаються пікселі, для яких виконуються умови (2.10) і (2.11) при денному та нічному спостереженні відповідно:

$$T_4 > 325K, \Delta T > 20K, \quad (2.10)$$

$$T_4 > 310K, \Delta T > 10K. \quad (2.11)$$

Важливим фактором даного алгоритму є розмір вікна. Емпірично доцільним є розмір  $21 \times 21$  піксель, при цьому дійсними повинні бути не менше 8 пікселів. Кількість дійсних пікселів у фоновому вікні позначається  $N_v$ . Під час процесу аналізу, визначається кількість відхилених сусідніх пікселів  $N_f$ , а також кількість сусідніх пікселів, виключених як вода  $N_w$ . Якщо ідентифікована достатня кількість дійсних сусідніх пікселів, виконується обчислення кількох статистичних показників:

-  $\overline{T_4}, \sigma_4$  – середнє та середнє абсолютне відхилення  $T_4$  для дійсних сусідніх пікселів;

-  $\overline{T_{11}}, \sigma_{11}$  – середнє та середнє абсолютне відхилення  $T_{11}$  для дійсних сусідніх пікселів;

-  $\overline{\Delta T}, \sigma_{\Delta T}$  – середнє та середнє абсолютне відхилення  $\Delta T$  для дійсних сусідніх пікселів.

Для контекстного алгоритму виявлення пожеж, як міра дисперсії, використовується середнє абсолютне відхилення, а не стандартне відхилення, оскільки воно більш стійке. Це досить принципово, оскільки забруднення фонового вікна невизначеними хмарами, водою, продуктами згорання від пожежі та інших джерел є явищем, яке досить часто зустрічається.

Контекстний алгоритм для ідентифікація пожежних пікселів

Контекстний алгоритм, який ідентифікує «пожежні» пікселі, складається з двох послідовних випробувань.

Випробування 1 – піксель визначений як PF, якщо виконується умова [5]:

$$\begin{cases} T^B(3) > 311K, \\ T^B(3) - T^B(4) > 8K, \end{cases} \quad (2.11)$$

де  $T^B(X)$  – яскравісна температура в каналі  $X$ : канал 3 – спектральний діапазон 3-4 мк, канал 4 – спектральний діапазон 10-11 мк,  $K$  – температура по Кельвіну.

Випробування 2 – піксель визначений як PF, якщо виконується умова [5]:

$$\begin{cases} T^B(3-4)_{PF} - [T^B(3-4)_b + \delta T^B(3-4)_b] > 0, \\ T^B(3)_{PF} - [T^B(3)_b + \delta T^B(3)_b] > 3K, \end{cases} \quad (2.12)$$

де  $T^B(3)_b$  – середнє значення яскравісної температури фону в каналі 3,  $\delta T^B(3)_b$  – стандартне відхилення яскравісної температури фону в каналі 3,  $T^B(3-4)_b$  – середнє значення різниці яскравісної температури фону в каналах 3 і 4,  $\delta T^B(3-4)_b$  – стандартне відхилення різниці яскравісної температури фону в каналах 3 і 4.

Відібрані таким чином пікселі можна розділити на три групи: однозначно пожежні, ймовірно-пожежні та однозначно-непожежні. Подальше визначення однозначно-пожежних пікселів виконується маскуванням місць, де PF – однозначно-непожежні (піщані ґрунти, водойми, техногенні об'єкти, що виділяють велику кількість тепла).

Наявність чітко визначених територій з високим ступенем пожежної небезпечності (карти лісових кварталів в лісництві, зони відчуження з визначеними характеристиками стану лісів) дає можливість з високою ймовірністю віднести PF до однозначно-пожежних пікселів.

### 2.3. Статистична модель Байєса

Історично у більшості методів статистичних досліджень поняття апіорної події не використовується або недооцінюється. Головна відмінність аналізу Байєса від класичної статистики полягає в припущеннях про параметри

розподілів як величини не постійні, а випадкові змінні. Підхід Байєса заснований на суб'єктивній інтерпретації ймовірності.

Для оцінки повної ймовірності об'єднуються апіорні дані з апостеріорними. Загальний вираз теореми Байєса має наступний вигляд [100]:

$$P(E_i \setminus B) = \frac{P(E_i) \cdot P(B \setminus E_i)}{\sum_{i=1}^n P(E_i) \cdot P(B \setminus E_i)}, \quad (2.14)$$

де  $P(E_i)$  – ймовірність події  $E_i$ ;  $P(B \setminus E_i)$  – ймовірність події  $B$  за умови, що відбулася  $i$ -та подія  $E_i$ .

У найпростішій формі теореми Байєса можна записати [100]:

$$P(A \setminus B) = \frac{P(A) \cdot P(B \setminus A)}{P(B)}. \quad (2.15)$$

Проведення статистичного аналізу Байєса має основні етапи [100]:

- визначення змінних систем;
- визначення причинних зв'язків між змінними;
- визначення умовних і апіорних ймовірностей;
- додавання об'єктивних свідчень до мережі;
- оновлення довірчих оцінок;
- визначення апостеріорних довірчих оцінок.

Підхід Байєса застосовується з отриманням широкого діапазону вихідних даних (для аналізування даних з отриманням точкових оцінок і довірчих інтервалів). Широку популярність цього підходу пов'язано з застосуванням мереж Байєса для визначення апостеріорних розподілів. Графічні вихідні дані забезпечують простоту для розуміння модель, а дані може бути легко змодифіковано, щоб розглядати кореляції та чутливості параметрів [99].

Метод Байєса – це одна з основних теорем теорії ймовірностей, яка допомагає визначити ймовірність події за умови, що інша взаємопов'язана з нею подія вже відбулася. Формула Байєса допомагає більш точно порахувати

ймовірність події, враховуючи раніше відомі дані, так і нову інформацію. Особливістю даної формули є те, що для її практичного застосування потрібно проводити багато обрахунків, тому байєсовські оцінки стали активно використовувати тільки з швидким розвитком інформаційних технологій [99].

Нехай подія  $K$  може відбутися лише одночасно з однією з подій (гіпотези)  $H_1, H_2, \dots, H_n$ , які утворюють повну групу несумісних подій, тобто  $\sum_{i=1}^n P(H_i) = 1$ .

Тоді за теоремою Байєса ймовірність події  $K$ , яка може настати лише з появою однієї з гіпотез, дорівнює сумі добутків ймовірностей кожної з гіпотез на відповідну умовну ймовірність події  $K$  [100]:

$$P(K) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(K / H_i). \quad (2.15)$$

Для події  $K$  характерний комплекс ознак  $k_1, k_2, \dots, k_v$ , які в свою чергу ще можуть поділятися на розряди  $k_{j1}, k_{j2}, \dots, k_{jm}$ , за якими буде проводитися дослідження.

Тоді для визначення ймовірності гіпотези  $H_i$  за умови, що подія  $K$  вже відбулася, використовується узагальнена формула Байєса:

$$P(H_i / K) = \frac{P(H_i) \cdot P(K / H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i) P(K / H_i)} \quad (2.16)$$

де  $P(H_i)$  – апіорна ймовірність гіпотези  $H_i$  (за попередньою статистикою);

$K$  – подія, для якої характерний певний комплекс ознак  $k_1, k_2, \dots, k_v$ ;

$n$  – загальна кількість можливих гіпотез;

$P(H_i / K)$  – апостеріорна ймовірність гіпотези  $H_i$  після того, як стали відомі результати по комплексу ознак події  $K$ ;

$P(K/H_i)$  – ймовірність настання події  $K$  з гіпотезою  $H_i$ , яка обчислюється за формулою:

$$P(K/H_i) = P(k_1/H_i) \cdot P(k_2/H_i) \cdot \dots \cdot P(k_v/H_i) \quad (2.17)$$

Дана формула (2.17) відноситься до будь-якої з  $n$  гіпотез, для яких виконується наступна рівність  $\sum_{i=1}^n P(H_i) = 1$ .

Рівність  $\sum_{i=1}^n P(H_i) P(K/H_i) = P(K)$  називається повною ймовірністю події  $K$ , яка відбувається разом з повною групою подій.

Якщо додається новий об'єкт з гіпотезою  $H_\mu$ , то корекція попередніх апіорних ймовірностей гіпотез проводиться за формулами [99]:

$$P(H_i) = \begin{cases} \frac{N_i}{N+1} = P(H_i) \cdot \frac{N}{N+1}, & i = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq \mu; \\ \frac{N_\mu + 1}{N+1} = P(H_i) \cdot \frac{N}{N+1} + \frac{1}{N+1}, & i = \mu, \end{cases} \quad (2.18)$$

де  $N_i$  – число об'єктів з гіпотезами  $H_i$ .

Умовні ймовірності перераховуються за формулами:

$$P(k_{js}/H_\mu) = \begin{cases} P(k_{js}/H_\mu) \cdot \frac{N_{\mu j}}{N_{\mu j} + 1}, & s \neq r; \\ P(k_{js}/H_\mu) \cdot \frac{N_{\mu j}}{N_{\mu j} + 1} + \frac{1}{N_{\mu j} + 1}, & s = r, \end{cases} \quad (2.19)$$

де  $N_{\mu j}$  – число об'єктів з гіпотезою  $H_\mu$ , які мають ознаку  $k_j$ .

Таким чином, досліджено статистичну модель Байєса на основі якої буде розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж.

## Висновки до розділу 2

Для моделювання досліджуваної системи необхідна базова інформація, до якої належать статистичні вибірки даних, серія космічних знімків, отриманих внаслідок ДЗЗ, визначення характеристик, властивостей та потреб, які необхідні для досліджування системи та метода для рішення поставленої задачі.

Інформація про просторовий і часовий розподіл територій уражених лісовими пожежами, таксаційні характеристики та статистичні температурні дані є важливою основою для створення прогностичної моделі Байєса.

Для прогноза виникнення лісової пожежі важливу роль відіграють температурні показники стану атмосфери.

Класифікація лісових насаджень допомагає визначати породний склад дерев, на основі якої формується класи пожежної небезпеки для кожного кварталу.

Таксаційні характеристики формують основу для створення прогнозу розвитку пожежі. Ця інформація під час моделювання пожежних режимів на регіональному рівні переважно одержуються на основі дешифрування даних ДЗЗ, використовуючи тематичні класи земного покриття.

Даний розділ вміщує поетапну реалізацію методів та алгоритмів, результатом яких є розробка науково-методичного апарату прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса в інтеграції з геододатками для підтримки управлінських рішень.

### РОЗДІЛ 3

## ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ГЕОДАНИХ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Найважливішим етапом створення програмно-алгоритмічного забезпечення є вибір засобів розробки. Від нього залежить можливість реалізації поставлених цілей та задач, значно полегшується етап програмування завдяки існуючим технологіям та зручним середовищам розробки.

### 3.1. Архітектура програмної системи прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса

Архітектура програмної системи забезпечує виконання вимог до програмної системи прогнозування виникнення лісових пожеж, які сформульовані в розділі 1 та представлені на рис. 3.1.

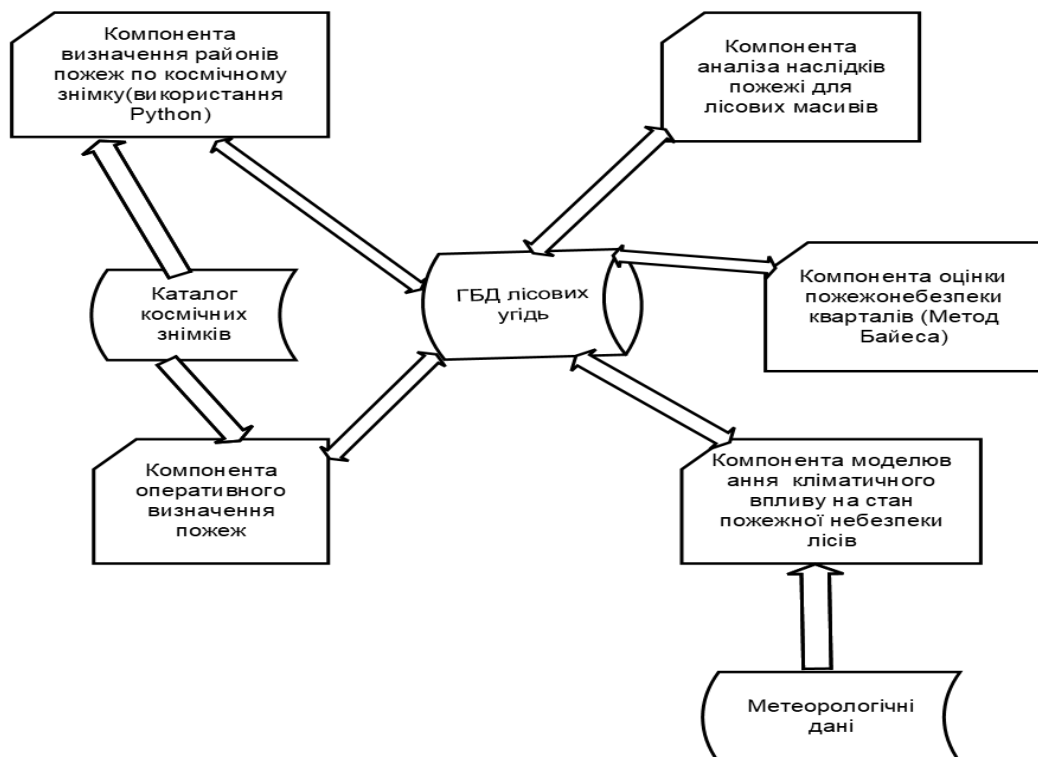


Рисунок 3.1. Архітектура програмного забезпечення системи прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса



Архітектура програмного забезпечення системи прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса містить опис алгоритмів, моделі просторової та атрибутивної бази даних та включає компоненти програмної системи.

- Компонента визначення районів пожеж за космічним знімком – за багатозональним космічним знімком визначається пожежний індекс, використовуючи бібліотеку обробки даних ДЗЗ в Python.
- ГБД лісових угідь – геоінформаційна база даних, в якій зберігаються картографічні та атрибутивні дані про лісові угіддя (квартали та виділи).
- Каталоги космічних знімків – on-line ресурси для пошуку та скачування даних ДЗЗ.
- Компонента оперативного визначення пожеж – використовуючи тепловий діапазон космічних знімків низької роздільної здатності (NOAA) та алгоритми статистичної оцінки яскравісної температури визначаємо потенційно пожежні об'єкти.
- Компонента оцінки пожежонебезпеки кварталів (Метод Байєса) – застосовуючи характеристики лісових угідь та алгоритм статистичної оцінки Байєса визначаємо ступінь пожежної небезпеки лісового кварталу.
- Компонента аналізу наслідків пожежі для лісових масивів – визначення наслідків враження лісових угідь пожежою на основі методів геоінформаційного аналізу.
- Компонента моделювання кліматичного впливу на стан пожежної небезпеки лісів – на основі статистичних даних зміни кліматичних показників з використанням бібліотек Python та Data Science побудована модель впливу цих змін на пожежонебезпечність лісових угідь.

Схеми (діаграми) шарів використовуються для опису логічної архітектури системи. Діаграми шарів використовуються для перевірки того, що розроблений код відповідає високорівневому проекту на схемі шарів.

Діаграми дозволяють перевіряти архітектуру додатка на відповідність базі коду.

Пошарова структура програмної системи складається з декількох модулів, які дозволяють поступову програмну розробку. Для кожного з цих модулів створено свої набори даних, які зберігаються у вигляді реляційної бази даних (БД) і представлена на рис. 3.2.

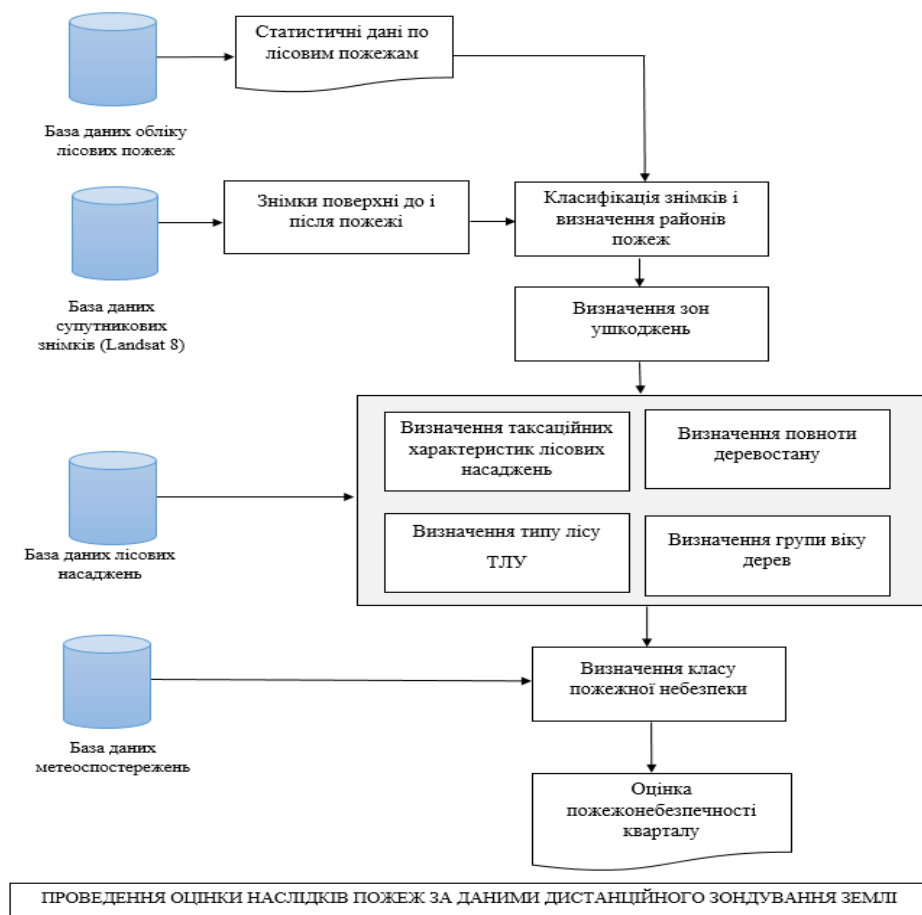


Рис. 3.2. Пошарова структура програмної системи прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса

Перший модуль програмної системи відповідає за збір інформації та створення баз даних. Вхідні дані, необхідні для системи, можна поділити на категорії:

- дані про пожежі (статистичні дані);
- географічні дані;

- метеорологічні дані;
- таксаційна класифікація лісових масивів.

Статистичні дані дозволяють отримати дані про пожежі та визначити території лісових угідь для дослідження.

Географічні дані мають містити інформацію про території до та після пожежі. Вони описують топографію, рослинність, гідрологію, дороги тощо. Географічні дані надходять у нашу систему у вигляді супутникових знімків з Landsat-8.

Для пошуку географічних, метеорологічних даних можуть бути використані хмарні бази даних. Хмарна база даних – це набори структурованих або неструктурованих даних, які зберігаються на приватній або загальнодоступній платформі хмарних обчислень.

Другий модуль доступу до даних реалізує формування та обробку запитів до БД лісових насаджень, відбір та завантаження метеорологічних даних, формування та обробку запитів ГБД, формування та обробку запитів до БД знімків.

Для проведення обробки даних необхідно відібрати знімки потрібної місцевості з мінімальним рівнем хмарності, отримані зображення необхідно класифікувати та відібрати дані за визначений період часу. В результаті отримаємо набір супутникових знімків за певний період для досліджуваних територій [119].

Для визначення районів пожеж створено ряд програмних модулів, які знаходять та аналізують знімки в період до та після пожежі, визначають найбільш ушкоджені пожежею території.

Інтенсивність горіння лісу залежить від його типу. Тому для визначення типу насаджень потрібні статистичні дані по всіх таксаційних характеристиках виділів лісових угідь. Визначені території виділів формують цілісні території, які називаються кварталами. Під час проведення інвентаризації лісу проводиться опис всіх ділянок всередині кварталу. Ці первинні

лісогосподарські облікові одиниці називаються лісотаксаційними виділами. Таксаційних виділ – це обмежена лісова ділянка з однорідними ґрунтово-покривними умовами та рослинністю.

До таких показників відносяться походження насаджень, переважаючі породи, форми насадження, повнота основного ярусу, типу лісу, діаметр дерев, вік дерев, спалені території. Ці показники визначають пожежну небезпеку та зберігаються у відповідних таблицях нашої бази даних.

У результаті аналізу таксаційних показників виділів система формує набір даних, які можна використовувати для подальшого визначення класу пожежної безпеки виділу.

Метеорологічні дані містять інформацію про температуру, швидкість вітру, напрям та вологість досліджуваного району, що досліджується. Адже температурні показники, вологість повітря, кількість опадів суттєво впливають на ймовірність виникнення пожеж.

Всі відібрані дані використовуються у розрахунковому модулі оцінки пожежної небезпеки на основі характеристик лісових виділів за статистичною моделлю Байєса.

Третій модуль містить математичний апарат, завдяки якому реалізуються методи та алгоритми та створюються математичні моделі. Даний модуль реалізує математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж, метод дешифрування супутникових знімків для ідентифікації пожеже небезпечних місць та визначення територій, уражених пожежами, математична модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса.

Четвертий модуль реалізує візуалізацію результатів роботи програмно-апаратного комплексу.

Реляційна база даних – це організований набір структурованої інформації, яка базується на реляційній моделі даних та представляється у інтуїтивно зрозумілому способу представлення даних у вигляді таблиць. Таблиці є

об'єктами бази даних та містять інтуїтивний опис об'єктів предметної області. У реляційній базі даних кожен рядок у таблиці є записом з унікальним ідентифікатором (унікальним ключем). Стовпчики таблиці містять атрибути даних. Зазвичай, кожен запис таблиці містить опис окремого атрибута та має можливість встановлення зв'язків із записами інших таблиць [98, 101-102].

Таким чином, основними модулями системи, які забезпечують безпосередню реалізацію алгоритмічно-програмного забезпечення, є модуль доступу до даних, що відповідає за робота із супутниковими та статистичними даними, аналізу характеристик лісових насаджень, оцінки пожежонебезпечності території та модуль математичного апарату.

### **3.2. Модель бази даних**

Для аналізу ризиків виникнення лісових пожеж необхідно аналізувати різноманітні масиви даних. Важливою є задача розробки бази даних, яка містить інформацію не тільки про пожежі та їх характеристики, а і про умови, які сприяли виникненню та поширенню цих пожеж. Інформація повинні містити просторові та часові дані щодо постраждалих ділянок лісу, типів насаджень, вікових показників, стану рослин [103-111]. Це надає нам можливість проводити аналіз даних, згрупованих за різними показниками.

#### **3.2.1. Фізична база даних обробки космічного знімку**

Розроблена база даних, що призначена для зберігання космічних знімків та пожеж, а також інформації про них, складається з п'яти таблиць:

- знімок – для зберігання інформації про космічний знімок зроблений супутником Landsat 8;
- спектральний канал – для зберігання інформації про окремий спектральний канал космічного знімка;

- спектральні канали – для зберігання інформації про наявність каналів та інформації про знімок;
- пожежа – для зберігання інформації про пожежу;
- хронологія пожеж – для зберігання показника індексу DNBR у форматі GeoTIFF та посилань на знімки до та після пожежі.

Створена база даних використовує модифікацію LONGBLOB для зберігання великих файлів растрових зображень спектральних каналів космічних знімків, а також показників індексу DNBR. Аналогічним чином використовується модифікація BLOB для зберігання файлу з зображенням класифікації індексу DNBR в форматі PNG [125-126].

Фізична модель даних була побудована за принципом реляційної моделі даних (рис. 3.3) .

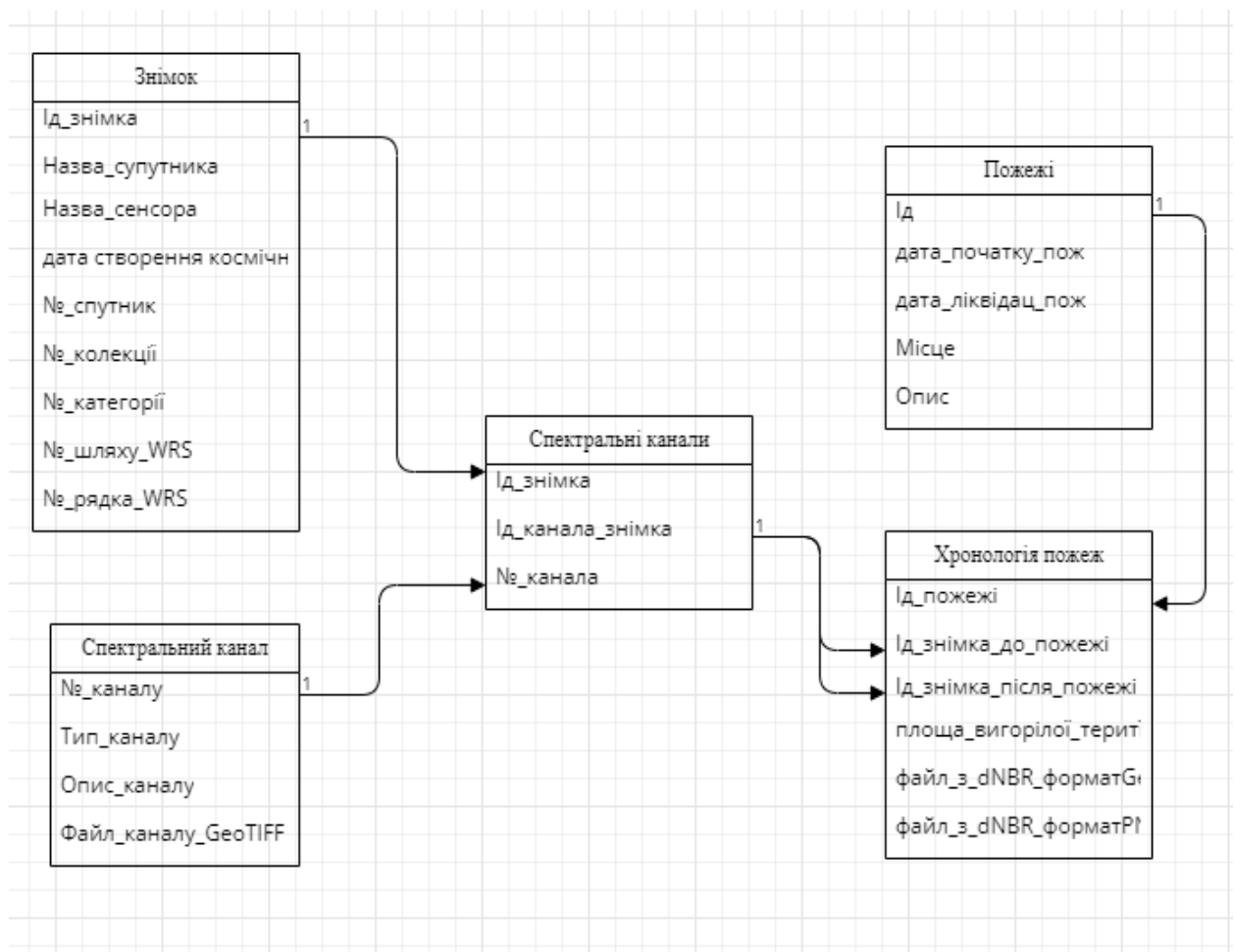


Рис. 3.3. Фізична модель бази даних обробки космічного знімку

З метою дотримання цілісності бази даних, кожна таблиця має первинний ключ, який заповнюється автоматично. Для таблиці «знімок» це поле з назвою «ід\_знімка», для таблиці «пожежі» – поле «ід\_пожежі», для «хронології пожеж» – «ід\_пожеж», для «спектральних знімків» – «ід\_знімка», для «хронології пожеж» – «ід\_пожежі». Також таблиці «знімок» і «спектральні канали», створеної бази даних, мають зовнішні поля для посилання на інші таблиці. Так, таблиця «спектральні канали» містить інформацію про відповідні спектральні канали конкретного знімка.

Таблиця «спектральні канали» має два зовнішні ключі, які є посиланням на таблицю «хронологія пожеж», один з яких «ід\_знімка», що містить інформацію про відповідну пожежу, та інший ключ «ід\_канала знімка», що посиляється на дані про знімок до і після пожежі відповідно.

### 3.2.2. Геоінформаційна база даних

Геоінформаційна база даних є основою для використання опису кварталів [120]. Характеристики лісових виділів використовуються для обчислення індексу пожежебезпеки (рис. 3.4).

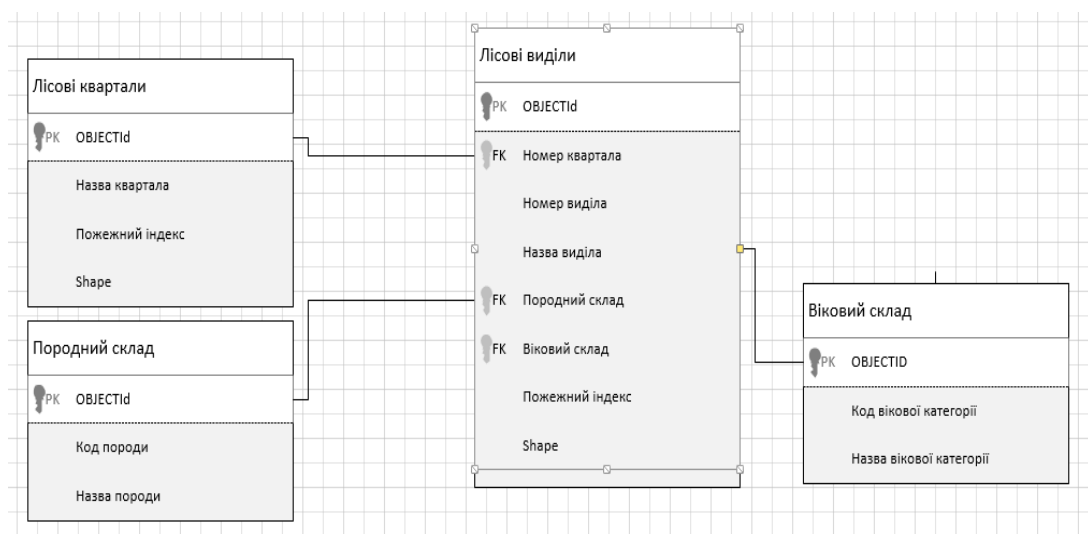


Рис. 3.4. Фрагмент геоінформаційної бази даних

Важливою частиною створення геоінформаційної бази є встановлення зв'язків між таблицями ГБД. В ArcMap – це функція Relationship Class [103].

### **3.3. Засоби розробки**

Середовищем розробки обраний JetBrains Pycharm Community Edition.

База даних створена в середовищі MySQL Workbench Community Edition, що є вільним інструментом для візуального проектування баз даних, що інтегрує проектування, моделювання, створення й експлуатацію БД в єдине безкоштовне оточення для системи баз даних MySQL [98].

Передача даних з БД до додатку відбувалась за допомогою MySQL Connector/Python.

MySQL – система керування реляційними базами даних (СКБД) з відкритим вихідним кодом. На даний час ця СКБД є однією з найбільш популярних серед веб-додатків. Надзвичайно велика кількість CMS (Content Management System) використовують MySQL, а також майже всі веб-фреймворки підтримують MySQL на рівні базової конфігурації. До переваг MySQL можна віднести такі [112-113]:

- простота роботи;
- гнучкість використання;
- можливість одночасної роботи будь-якої кількості користувачів;
- продуктивність;
- швидкість роботи.

Для побудови температурної моделі озв'язок задачі реалізовано за допомогою Jupyter Notebook [114].

Для побудови карт використовувались засоби комплексу геоінформаційних програмних продуктів ArcGIS, а саме ArcMap та ArcGIS Online.



Matplotlib – це бібліотека мовою програмування Python для візуалізації даних з двовимірною графікою. Зображення, генеровані в різних форматах, можна використовувати в інтерактивній графіці, наукових публікаціях, графічних інтерфейсах користувача, веб-додатках, в яких потрібно створити графіки [102].

Пакет підтримує багато типів графіків та діаграм:

- графіка (лінійний графік);
- розкидання діаграм;
- штрихові карти та гістограми;
- кругові діаграми;
- деформаційні схеми;
- контурні графіки;
- градієнтні поля (вібрація);
- спектральні діаграми (спектрограми).

Користувач може вказати осі координат, сітку, додати описи та пояснення, використовувати логарифмічну шкалу або полярні координати.

Набір підтримуваних форматів зображень, векторних та растрових, можна отримати зі словника `FigureCanvasBase.filetypes`.

Типові підтримувані формати [115]:

- інкапсульований PostScript (EPS);
- посилений метафіл (ЕМП);
- JPEG;
- PDF;
- PNG;
- PostScript;
- RGBA;
- SVG;
- SVGZ;
- TIFF.

Саме зображення формату TIFF ми використовуємо для класифікації наших зображень, щоб отримати дані для нашої програми.

Графіки кореляції використовуються для візуалізації взаємозв'язку між 2 або більше змінними. Тобто, як одна змінна змінюється по відношенню до іншої.

Упорядкована гістограма ефективно передає порядок ранжирування елементів. Але, додавши значення показника над діаграмою, користувач отримує точну інформацію від самої діаграми [113].

NumPy – це бібліотека мови Python, що додає підтримку великих багатовимірних масивів і матриць, разом з великою бібліотекою високорівневих (і дуже швидких) математичних функцій для операцій з цими масивами [115].

Основним об'єктом NumPy є однорідний багатовимірний масив (в numpy називається `numpy.ndarray`). Це багатовимірний масив елементів (зазвичай чисел), одного типу [114].

Найбільш важливі атрибути об'єктів `ndarray`:

- `ndarray.ndim` – число вимірювань (частіше їх називають "осі") масиву;
- `ndarray.shape` – розміри масиву, його форма. Це кортеж натуральних чисел, що показує довжину масиву по кожній осі. Для матриці з  $n$  рядків і  $m$  стовпів, `shape` буде  $(n, m)$ . Число елементів кортежу `shape` одно `ndim`;
- `ndarray.size` – кількість елементів масиву. Очевидно, дорівнює добутку всіх елементів атрибута `shape`;
- `ndarray.dtype` – об'єкт, що описує тип елементів масиву. Можна визначити `dtype`, використовуючи стандартні типи даних Python. NumPy тут надає цілий букет можливостей, як вбудованих, наприклад: `bool_`, `character`, `int8`, `int16`, `int32`, `int64`, `float8`, `float16`, `float32`, `float64`, `complex64`, `object_`, так і можливість визначити власні типи даних, в тому числі і складові;
- `ndarray.itemsize` – розмір кожного елемента масиву в байтах;

- `ndarray.data` – буфер, який містить фактичні елементи масиву. Зазвичай не потрібно використовувати цей атрибут, так як звертатися до елементів масиву найпростіше за допомогою індексів [114].

Головною особливістю `numpy` є об'єкт `array`. Масиви схожі зі списками в `python`, виключаючи той факт, що елементи масиву повинні мати однаковий тип даних, як `float` і `int`. З масивами можна проводити числові операції з великим обсягом інформації в рази швидше і, головне, набагато ефективніше ніж зі списками [115].

На рис. 3.5 відображені зв'язки дій користувача з програмними діями. Кожна кнопка викликає свій модуль, який працює з кожною конкретною поставленою задачею.

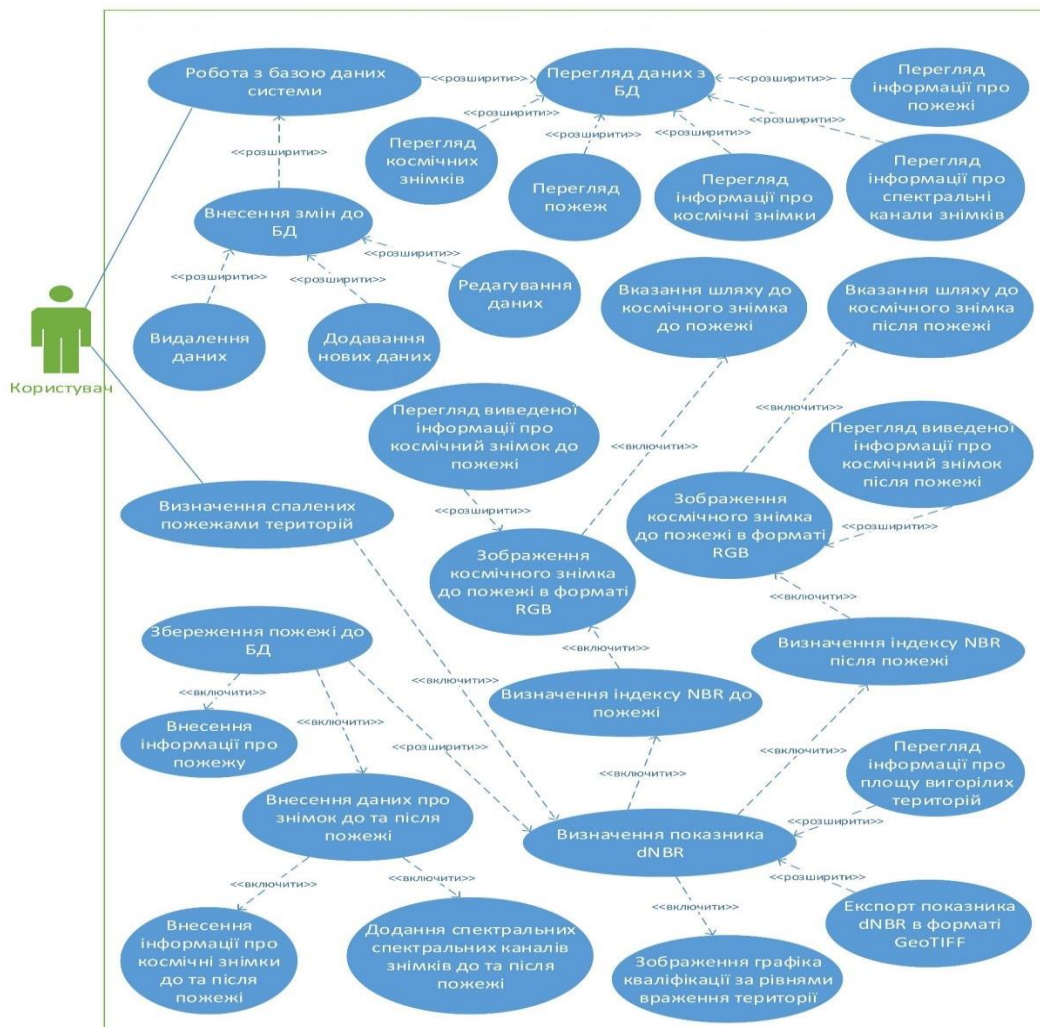


Рис. 3.5. Діаграма прецедентів дій користувача з програмою

IPython є потужним інструментом для роботи з мовою Python. Базові компоненти IPython – це інтерактивна оболонка для роботи з великим набором можливостей та ядро для Jupyter. Jupyter notebook є графічною веб-оболонкою для IPython, що дозволяє розширити ідею консольного підходу до інтерактивних обчислень [114].

Особливості даної платформи полягають в комплексній інтроспекції об'єктів, збереження історії вводу протягом всіх сеансів, кешування вихідних результатів, додатковий командний синтаксис, підсвічування коду, доступ до системної оболонки. IPython дозволяє підключитися багатьом клієнтам до одного обчислювального ядра та завдяки своїй архітектурі має змогу працювати в паралельному кластері [115].

Jupyter notebook надає можливість розробляти, документувати та виконувати додатки мовою Python, він має дві компоненти:

- веб-додаток, що запускається в браузері;
- ноутбук – файли, в яких можна працювати з вихідним кодом програми, запускати його, проводити ввід та вивід даних тощо. Фактично, ноутбук- це запис роботи, але він дозволяє наново виконати код, який присутній на ньому.

Програмний код реалізовано в стандартній оболонці Python.

Python – сучасна мова програмування, що функціонує на різних популярних операційних системах [114-118].

Python – це універсальна сучасна інтерпретована мова програмування [123]. До основних переваг належать:

- доступність та багатоплатформність;
- простий синтаксис та легкість вивчення;
- універсальність в написанні програм з простим синтаксисом;
- динамічна типізація та стандартна бібліотека
- відсутність витоків пам'яті.
- підтримка об'єктно-орієнтованого програмування.
- наявність готових модулів, що спрощують процес написання коду.

Стандартна бібліотека, встановлена з Python використовується для роботи з операційними системами, веб-додатками, базами даних, різними форматами даних та створення графічного інтерфейсу програм. Для реалізації інформаційної системи, було обрано мову програмування Python версії 3.8.1, а саме, її бібліотеки [124-126]:

- matplotlib – для встановлення параметрів області виводу зображень та їх збереження в якості фігур в форматі PNG для подальшого відображення в користувацькому графічному інтерфейсі.

- os – для оперування шляхами до файлів та папок системи;

- seaborn – для більш детального налаштування виводу зображень космічних знімків та показників індексів;

- numpy – для підтримки багатовимірних масивів та матриць даних, отриманих шляхом переведення растрів спектральних каналів космічних знімків Landsat 8 в числові значення. А також для проведення математичних операцій з цими даними;

- хатгау – для ведення міток у вигляді розмірів, координат та атрибутів поверх вихідних масивів numpy, що дозволяє працювати з великими масивами даних растрових каналів та декількома каналами одночасно;

- гіохаггау – для відкриття растру каналу в форматі GeoTIFF та переведення його в масив даних типу хатгау, а також для зворотного експортування даних з формату хатгау у формат GeoTIFF.

Таким чином, запропоновано методи та програмні засоби розробки програмного забезпечення. Об'єктно-орієнтований підхід до проектування та реалізації науково-методичного апарату забезпечують раціональний уніфікований процес проектування та розробки програмного забезпечення.

### **Висновки до розділу 3**

У даному розділі було описано основу реалізації та застосовано підхід з використанням сучасних архітектурних рішень та методик, здатних покращити процеси розробки та впровадження алгоритмічно-програмних комплексів.

Описано методи та програмні засоби, які використано при виконанні розробки системи: мова програмування Python та її бібліотеки, середовище розробки JetBrains Pycharm Community Edition, раціональний уніфікований процес проектування та розробки програмного забезпечення. Розробка карт ГБД виконувалась в учбовій версії ArcGis 10.6.1. Карти опубліковані на хмарному сервері ArcGis OnLine.

Проаналізувавши специфіку технології визначення спалених пожежами територій за космічними знімками та поставлені задачі, для реалізації бази даних, що могла б зберігати космічні знімки, пожежі та інформацію про них, було обрано систему керування базами даних MySQL, через її гнучкість в використанні, масштабованість, високу продуктивність та поширеність в наш час. Для проектування та створення бази даних було обрано MySQL Server 8.0 та середовищі розробки MySQL Workbench 8.0. Для написання запитів до бази даних була використана мова структурованих запитів SQL.

З метою забезпечення зручної взаємодії користувача з розробленою інформаційною системою та покращення і спрощення його роботи з базою даних було прийнято рішення створити інтерфейс.

Для реалізації алгоритму, що використовує космічні знімки для визначення спалених пожежами територій, було обрано мову програмування Python версії 3.8.1.

Описані методи та програмні засоби розробки програмного забезпечення, об'єктно-орієнтований підхід до проектування та реалізації науково-методичного апарату забезпечують раціональний уніфікований процес проектування та розробки програмного забезпечення.

## РОЗДІЛ 4

### ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ НЕГАТИВНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

#### **4.1. Модель дослідження впливу температури на виникнення лісових пожеж**

Глобальні зміни температури довкілля прямим чином впливають на ймовірність виникнення пожеж. Тому виникає потреба дослідити та врахувати кліматичну (погодну) складову.

Дане дослідження досить складне і ґрунтується на глобальних багаторічних метеорологічних даних. Досліджується, які температурні зміни відбуваються в заданій географічній області. Розрахунок температури поверхні визначає ймовірність займання ЛГМ і є одним з головних факторів при прогнозуванні лісової пожежної небезпеки.

Для вирішення задачі потрібно отримати історичні статистичні погодні дані для досліджуваного регіону, проаналізувати та відобразити на графіку з метою візуалізації змін та отримання ймовірнісної характеристики. Цикл байєсовського аналізу на першому етапі передбачає отримання необхідних статистичних даних з наступним формулюванням гіпотези та в кінцевому результаті перегляд представлень про ймовірність виникнення лісових пожеж на основі нових даних [122].

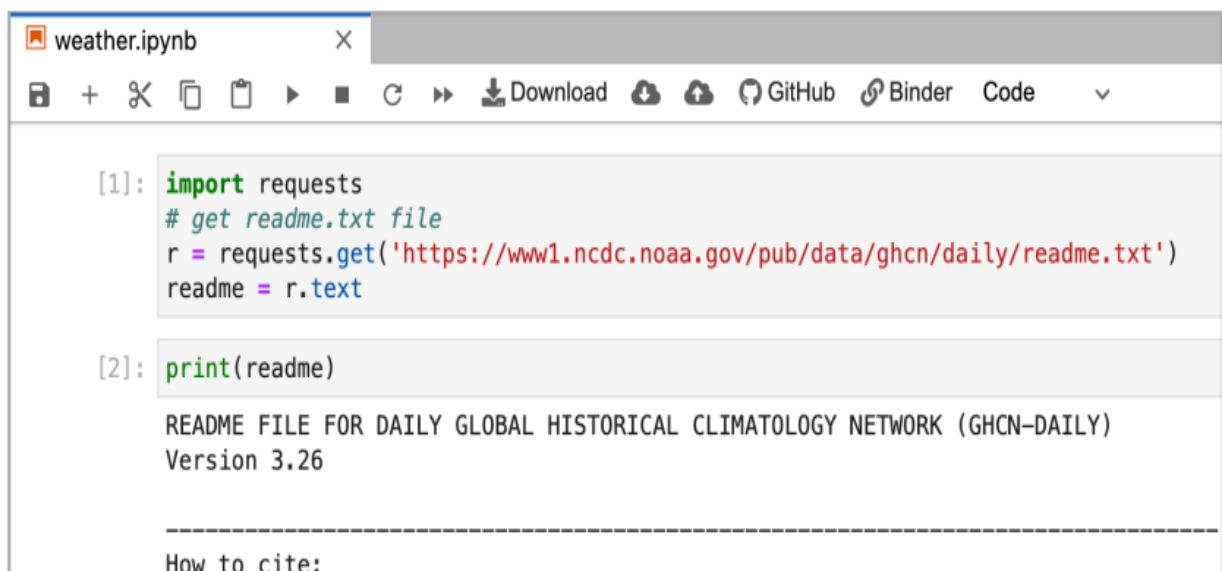
Послідовне використання засобів мови програмування Python для отримання погодних даних заданого географічного регіону, їх обробки та представлення в графічному вигляді має наступний алгоритм реалізації.

Джерела історичних метеорологічних даних знаходяться в безкоштовному доступі в інтернеті. Для розв'язку поставленої задачі були використані дані глобальної кліматичної бази Daily Global Historical Climatology Network (GHCN-Daily).

Існує ряд джерел, що представлені в інших форматах. Проте основні етапи та процеси, надані в цій кліматичній базі, адаптовані до застосування до будь-якого набору даних. Для початку роботи завантажуються дані. Архів щоденних історичних погодніх даних доступний за адресою <https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/> у вигляді величезного масиву даних.

Потрібно встановити, які саме файли необхідні і де їх місце зберігання, потім перейти безпосередньо до завантаження. Отримавши дані, переходимо до обробки і в подальшому до відображення результатів. Для завантаження файлів, доступ до яких можливий через https, використовуємо бібліотеку requests. Requests – це модуль Python, який використовується для відправки всіх типів http-запитів. Він є бібліотекою з різними функціями, починаючи з передачі параметрів в URL-адресах до відправки користувацьких заголовків та перевірки SSL.

Після встановлення requests необхідно завантажити файл readme.txt, в якому описані формати та місцезнаходження потрібних даних (рис. 4.1).



```
[1]: import requests
# get readme.txt file
r = requests.get('https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/readme.txt')
readme = r.text

[2]: print(readme)

README FILE FOR DAILY GLOBAL HISTORICAL CLIMATOLOGY NETWORK (GHCN-DAILY)
Version 3.26

-----
How to cite:
```

Рис. 4.1. Файл readme.txt

До переліку доступних файлів належить ghcnd-inventory.txt, в якому наведений список періодів спостережень для кожної станції. У файлі ghcnd-



stations.txt перелічені станції, серед яких потрібно знайти ту станцію, яка розташована поблизу до заданого географічного місцеположення (рис. 4.2).

```
# Получение файлов периодов наблюдений и станций
r = requests.get('https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/ghcnd-inventory.txt')
inventory_txt = r.text
r = requests.get('https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/ghcnd-stations.txt')
stations_txt = r.text
```

Рис. 4.2. Файл ghcnd-inventory.txt

Отримані файли зберігаються на локальному диску для зручності їх використання та за потреби повернутись до вихідних даних. Статистична вибірка елементів періодів спостережень, зроблених при використанні Jupiter зображена на рис. 4.3.

```
with open("inventory.txt", "w") as inventory_file:
    inventory_file.write(inventory_txt)

with open("stations.txt", "w") as stations_file:
    stations_file.write(stations_txt)

print(inventory_txt[:137])
```

ACW00011604	17.1167	-61.7833	TMAX	1949	1949
ACW00011604	17.1167	-61.7833	TMIN	1949	1949
ACW00011604	17.1167	-61.7833	PRCP	1949	1949

Рис. 4.3. Фрагмент статистичної вибірки періодів спостережень

З файла readme.txt виходить, що файл періодів спостережень має формат, зображений на рис. 4.4.

Переклад фрагменту файлу readme.txt:

Змінні мають наступні визначення:

ID ідентифікаційний код станції.

Повний список станцій та їх метадані відображені в файлі ghcnd-stations.txt:

LATITUDE – широта станції (в градусах).

LONGITUDE – довгота станції (в градусах).

ELEMENT – тип елементу.

За визначеннями елементів необхідно звернутись до розділу III:

FIRSTYEAR перший рік невідмічених даних для елементу.

LASTYEAR останній рік невідмічених даних для елементу.

VII. FORMAT OF "ghcnd-inventory.txt"

Variable	Columns	Type
ID	1-11	Character
LATITUDE	13-20	Real
LONGITUDE	22-30	Real
ELEMENT	32-35	Character
FIRSTYEAR	37-40	Integer
LASTYEAR	42-45	Integer

These variables have the following definitions:

ID is the station identification code. Please see "ghcnd-stations.txt" for a complete list of stations and their metadata.

LATITUDE is the latitude of the station (in decimal degrees).

LONGITUDE is the longitude of the station (in decimal degrees).

ELEMENT is the element type. See section III for a definition of elements.

FIRSTYEAR is the first year of unflagged data for the given element.

LASTYEAR is the last year of unflagged data for the given element.

Рис. 4.4. Файл періодів спостережень

Список періодів спостережень вміщує більшу частину інформації, що необхідна для пошуку потрібної метеостанції. Найближчі станції можна знайти за широтою та довготою, а далі скористатись полями FIRSTYEAR и LASTYEAR для знаходження станції з записами, що охоплюють тривалий період часу.

Опис основних елементів представлений полем ELEMENT, які зображені на рис. 4.5.

Переклад фрагменту файлу readme.txt:

ELEMENT – тип елементу. Всього визначено п'ять основних елементів:

PRCP – опади (в десятих долях міліметра).

SNOW – кількість снігових опадів (мм).

SNWD – товщина снігового покриву (мм).

TMAX – максимальна температура (в десятих долях градусів C).

TMIN – мінімальна температура (в десятих долях градусів Цельсія).

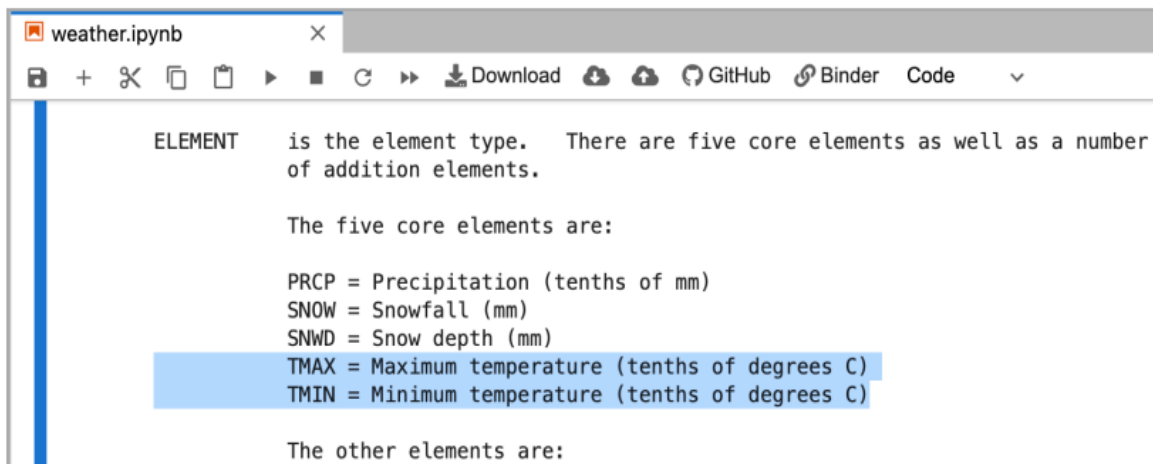


Рис. 4.5. Опис основних елементів

Для дослідження необхідні елементи TMAX та TMIN, які містять максимальну та мінімальну температури в десятих долях градусів Цельсія.

Файл readme.txt надає інформацію, яка зберігається в файлі періодів спостережень ghcnd-inventory.txt з метою перевести дані в зручний формат.

Для даного дослідження необхідні дані для України. Для цього в файлі ghcnd-countries.txt знаходимо код країни (рис.4.6).

```

TZ Tanzania
UC Curacao
UG Uganda
UK United Kingdom
UP Ukraine
US United States
UV Burkina Faso
UY Uruguay
UZ Uzbekistan
VE Venezuela
VM Vietnam
  
```

Рис. 4.6. Код країни

Використовуючи клас Inventory, створюємо кожний екземпляр з відповідними значеннями, які є розібраним рядком даних періодів спостережень (рис. 4.7). Розбір рядка відбувається в два етапи:

- на першому етапі отримуємо сегменти рядка відповідно до заданих розмірів полів;
- на другому етапі відбувається перетворення значення географічних координат до типу з плаваючою точкою, а початковий та кінцевий коди – до цілого типу.

```
from collections import namedtuple
Inventory = namedtuple("Inventory", ['station', 'latitude', 'longitude', 'element', 'start', 'end'])
inventory = [Inventory(x[0:11], float(x[12:20]), float(x[21:30]), x[31:35], int(x[36:40]), int(x[41:45]))
              for x in inventory_txt.split("\n") if x.startswith("UP")]

for line in inventory[:5]:
    print(line)

Inventory(station='UPM00033049', latitude=52.183, longitude=32.583, element='TMAX', start=1959, end=2016)
Inventory(station='UPM00033049', latitude=52.183, longitude=32.583, element='TMIN', start=1959, end=2021)
Inventory(station='UPM00033049', latitude=52.183, longitude=32.583, element='PRCP', start=1959, end=2016)
Inventory(station='UPM00033049', latitude=52.183, longitude=32.583, element='SNWD', start=1973, end=2016)
Inventory(station='UPM00033049', latitude=52.183, longitude=32.583, element='TAVG', start=1959, end=2021)
```

Рис. 4.7. Розібрані рядки даних спостереження

При обробці даних для визначення станцій, що знаходяться на мінімальній відстані від досліджуваного об'єкта, використовуються географічні координати; на основі початкового та кінцевого років відбувається вибір найдовшої серії температур. Серед різних типів елементів обрано елементи TMIN та TMAX для мінімальної та максимальної температури. Серія починається з 1920 року, а закінчується після 2021 року. Таким чином, відібрані станції, що мають не менше 100 років спостережень (рис. 4.8).

```
inventory_temps = [x for x in inventory if x.element in ['TMIN', 'TMAX']
                  and x.end >= 2021 and x.start < 1920]
inventory_temps[:5]

[Inventory(station='UPM00033345', latitude=50.4, longitude=30.5331, element='TMAX', start=1881, end=2021),
 Inventory(station='UPM00033345', latitude=50.4, longitude=30.5331, element='TMIN', start=1881, end=2021),
 Inventory(station='UPM00033506', latitude=49.6, longitude=34.5664, element='TMAX', start=1900, end=2021),
 Inventory(station='UPM00033506', latitude=49.6, longitude=34.5664, element='TMIN', start=1900, end=2021),
 Inventory(station='UPM00033587', latitude=48.77, longitude=30.23, element='TMAX', start=1887, end=2021)]
```

Рис. 4.8. Список вибраних станцій

Список містить лише температурні елементи, а початковий та кінцевий роки вказують, що список містить довгі серії даних.

Для того, щоб обрати найближчу станцію, порівнюються географічні координати даних станцій з географічними координатами необхідного

місцеположення. Існують різні способи отримання географічних координат довільної точки. У даному випадку використовуються картографічні додатки або пошук в мережі (для нашого регіону – це latitude, longitude = 50.4000, 30.5331). Для відсортування списку за географічними координатами визначається вихідна функція сортування, яка вираховує різницю між нашою широтою та широтою станції та різницю між нашою довготою та довготою станції і об'єднує їх в одне значення (рис. 4.9).

```
# Downtown Kiev, obtained via online map
latitude, longitude = 50.4000, 30.5331
inventory_temps.sort(key=lambda x: abs(latitude-x.latitude) + abs(longitude-x.longitude))
inventory_temps[:20]

[Inventory(station='UPM00033345', latitude=50.4, longitude=30.5331, element='TMAX', start=1881, end=2021),
Inventory(station='UPM00033345', latitude=50.4, longitude=30.5331, element='TMIN', start=1881, end=2021),
Inventory(station='UPM00033587', latitude=48.77, longitude=30.23, element='TMAX', start=1887, end=2021),
Inventory(station='UPM00033587', latitude=48.77, longitude=30.23, element='TMIN', start=1885, end=2021),
Inventory(station='UPM00033837', latitude=46.48, longitude=30.63, element='TMAX', start=1894, end=2021),
Inventory(station='UPM00033837', latitude=46.48, longitude=30.63, element='TMIN', start=1894, end=2021),
Inventory(station='UPM00033506', latitude=49.6, longitude=34.5664, element='TMAX', start=1900, end=2021),
Inventory(station='UPM00033506', latitude=49.6, longitude=34.5664, element='TMIN', start=1900, end=2021),
Inventory(station='UPM00033889', latitude=45.3667, longitude=28.85, element='TMIN', start=1887, end=2021),
Inventory(station='UPM00033946', latitude=44.7, longitude=34.1331, element='TMAX', start=1898, end=2021),
Inventory(station='UPM00033946', latitude=44.7, longitude=34.1331, element='TMIN', start=1886, end=2021)]
```

Рис. 4.9 . Вихідна функція сортування

При перегляді перших 20 елементів відсортованого списку розуміємо, що перша станція UPM00033345 досить вдало підходить. Вона містить обидва елементи, TMIN та TMAX, а період спостережень починається з 1881 року і продовжується до 2021-го – дані більш ніж за 120 років. Збережемо цю станцію в змінній station та розберемо вже отримані дані, з метою отримання більш детальної інформації про станцію. В файлі readme є наступна інформація про дані станції:

- визначення цих змінних (рис. 4.10);
- ID – ідентифікаційний код станції – перші два символи містять код країни за класифікацією FIPS, третій символ містить код мережі, який визначає систему нумерації станцій, а решта вісім символів містять власне ідентифікатор станції. Повний список кодів країн зібраний в файлі "ghcnd-countries.txt".

Список кодів штатів/провінцій/територій у файлі "ghcnd-states.txt". Код мережі складається з наступних п'яти значень:

- 0 = не задано (станція визначається восьми алфавітно-цифровими символами);

- 1 = ідентифікатор CoCoRaHS (Community Collaborative Rain, Hail, and Snow).

- Для узгодження зі стандартом GHCN Daily всі значення в вихідних ідентифікаторах CoCoRaHS були доповнені зліва до чотирьох цифр. Крім того, були видалені символи "-" та "\_", для того щоб довжина ідентифікатора не перевищувала 11 символів з префіксом "US1".

-

IV. FORMAT OF "ghcnd-stations.txt"		
Variable	Columns	Type
ID	1-11	Character
LATITUDE	13-20	Real
LONGITUDE	22-30	Real
ELEVATION	32-37	Real
STATE	39-40	Character
NAME	42-71	Character
GSN FLAG	73-75	Character
HCN/CRN FLAG	77-79	Character
WMO ID	81-85	Character

These variables have the following definitions:

ID is the station identification code. Note that the first two characters denote the FIPS country code, the third character is a network code that identifies the station numbering system used, and the remaining eight characters contain the actual station ID.

Рис. 4.10. Визначення змінних

Наприклад, ідентифікатор CoCoRaHS "AZ-MR-156" в in GHCN-Daily перетворюється в "US1AZMR0156". С = ідентифікатор U.S. Cooperative Network (останні шість символів ідентифікатора GHCN Daily ID).

Е = ідентифікатор, що використовується в ECA&D. М = ідентифікатор Всесвітньої метеорологічної організації (останні п'ять символів ідентифікатора GHCN\_Daily ID).

Н = ідентифікатор, що використовується в даних метеорологічного або гідрологічного центру.

R = ідентифікатор Міжвідомчих дистанційно керованих автоматичних метеорологічних станцій США (RAWS). S = ідентифікатор Служби збереження природних ресурсів SNOTEL (SNOWpack TELemetry). W = ідентифікатор WBAN (останні п'ять символів ідентифікатора GHCN-Daily).

LATITUDE – широта станції (в градусах).

LONGITUDE – довгота станції (в градусах).

ELEVATION – підвищення станції (в метрах, якщо дані відсутні = -999.9).

STATE – поштовий код штату (лише для станцій США).

NAME – назва станції.

GSN FLAG – прапорець, що вказує чи є станція частиною мережі GSN (GCO Surface Network). Значення прапорця задається перевіркою значення з поля WMOID за офіційним списком станцій GSN.

Визначені два значення:

пусте = станція не входить в GSN або код станції WMO недоступний.

GSN = станція GSN.

HCN/CRN FLAG прапорець, що вказує чи є станція частиною мережі HCN (Historical Climatology Network) США.

Визначені три значення:

пусте = станція не входить в мережу HCN або CRN.

HCN = станція входить в мережу HCN.

CRN = станція входить в мережу CRN (Climate Reference Network).

WMO ID ідентифікатор станції Всесвітньої метеорологічної організації. Якщо станція немає коду WMO (або код ще не був призначений для цієї станції), поле залишається порожнім.

Отримуємо список, єдиним елементом якого є станція для нашого регіону, що представлений на рис. 4.11.

```

station_id = 'UPM00033345'

# parse stations
Station = namedtuple("Station", ['station_id', 'latitude', 'longitude', 'elevation', 'state', 'name', 'start', 'end'])

stations = [(x[0:11], float(x[12:20]), float(x[21:30]), float(x[31:37]), x[38:40].strip(), x[41:71].strip())
             for x in stations_txt.split("\n") if x.startswith(station_id)]

station = Station(*stations[0] + (inventory_temps[0].start, inventory_temps[0].end))
print(station)

Station(station_id='UPM00033345', latitude=50.4, longitude=30.5331, elevation=166.0, state='', name='KIEV', start=1881, end=2021)

```

Рис. 4.11. Станція досліджуваного регіону

Для досліджень необхідні дані від метеорологічної станції 'KYIV', що має температурні дані більш ніж за 100 років. Наступним кроком необхідно отримати погодні дані для цієї станції та розкласти їх. В першу чергу завантажуються щоденні дані необхідної станції, які зберігаються в текстовому файлі для подальшого застосування та відображені на рисунку 4.12.

```

r = requests.get('https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/all/{}.dly'.format(station.station_id))
weather = r.text

# save into a text file, so we won't need to fetch again
with open('weather_{}.txt'.format(station), "w") as weather_file:
    weather_file.write(weather)

# read from saved daily file if needed (only used if we want to start the process over without downloading the file)
with open('weather_{}.txt'.format(station)) as weather_file:
    weather = weather_file.read()

print(weather[:540])

```

UPM00033345188101TMAX	22	r	10	r	-21	r	1	r	6	r	-15	r	-16	r	-11	r	-72	r	-82	r	-40	r	-62	r
71	r	-124	r	-109	r	-111	r	-107	r	-86	r	-155	r	-151	r	-65	r	-38	r	-45	r			
UPM00033345188101TMIN	-6	r	-55	r	-72	r	-51	r	-69	r	-51	r	-88	r	-69	r	-144	r	-152	r	-100	r	-116	r
36	r	-156	r	-159	r	-177	r	-189	r	-171	r	-202	r	-212	r	-160	r	-71	r	-65	r			

Рис. 4.12. Щоденні дані температури

При успішному завантаженні, повертаємось до файлу readme.txt та розділу III, в якому наведено опис файла даних з погодою. Дані відфільтровуються та залишаються лише потрібні для дослідження, виключаючи інші типи елементів, а також всю систему прапорців, що описують джерело, якість та тип значень (рис. 4.13).



III. FORMAT OF DATA FILES (".dly" FILES)		
Each ".dly" file contains data for one station. The name of the file corresponds to a station's identification code. For example, "USC00026481.dly" contains the data for the station with the identification code USC00026481).		
Each record in a file contains one month of daily data. The variables on each line include the following:		
Variable	Columns	Type
ID	1-11	Character
YEAR	12-15	Integer
MONTH	16-17	Integer
ELEMENT	18-21	Character
VALUE1	22-26	Integer
MFLAG1	27-27	Character
QFLAG1	28-28	Character
SFLAG1	29-29	Character
VALUE2	30-34	Integer
MFLAG2	35-35	Character
QFLAG2	36-36	Character
SFLAG2	37-37	Character
.	.	.

Рис. 4.13. Відфільтровані дані

Переклад фрагменту файлу readme.txt:

Кожен файл ".dly" містить дані однієї станції. Ім'я файла відповідає ідентифікаційному коду станції. Наприклад, файл "USC00026481.dly" містить дані для станції з ідентифікаційним кодом USC00026481. Кожен запис в файлі містить дані за один місяць. Змінні в кожному рядку. Змінні мають наступні визначення:

ID ідентифікаційний код станції.

Повний список станцій та їх метаданих знаходяться в файлі ghcnd - stations.txt.

YEAR = рік запису.

MONTH = місяць запису.

ELEMENT= тип елементу.

Всього визначено п'ять основних елементів:

PRCP = опади (в десяткових долях міліметра).

SNOW = кількість снігових опадів (мм).

SNWD = товщина снігового покриву (мм).

TMAX = максимальна температура (в десятих долях градусів C)..

TMIN = мінімальна температура (в десяткових долях градусів C)

VALUE1 – значення для першого дня місяця (дані відсутні = -9999).

MFLAG1 – прапорець вимірювань для першого дня місяця..

QFLAG1 – прапорець якості для першого дня місяця.

SFLAG1 – прапорець джерела для першого дня місяця.

VALUE2 – значення для другого дня місяця.

MFLAG2 – прапорець вимірювань для другого дня місяця.

QFLAG2 – прапорець якості для другого дня місяця.

SFLAG2 – прапорець джерела для другого дня місяця.

Варто врахувати, якщо місяць містить менше 31 дня, то зайвим змінним присвоюється ознака відсутності даних (наприклад, для квітня VALUE31 = -9999, MFLAG31 = пусто, QFLAG31 = пусто, SFLAG31 = пусто). Відзначимо, що ідентифікатор станції займає 11 символів рядка, рік — наступні 4 символи, місяць — наступні 2 символи, а елемент — наступні 4 символи після нього.

Далі йде 31 позиція для щоденних даних; кожна позиція має 5 символів для температури, в десятих долях градусів Цельсія та три символи прапорців. Прапорцями в даному випадку можна знехтувати.

Відсутність значення температур визначається -9999, якщо день відсутній в місяці (наприклад, значення для лютого невисокосного року за 29-е, 30-е та 31-е будуть дорівнювати -9999). При обробці даних необхідно визначити загальні тенденції, тому кожен окремий день не суто важливий. Потрібно порахувати середні місячні значення. Рациональним буде зберегти максимальне, мінімальне та середнє значення за цілий місяць та використати ці дані.

Обробка кожного рядка погодних даних відбувається наступним чином:

Розкласти рядок на окремі поля, нехтуючи прапорцями щоденних значень. Видалити дані зі значенням -9999, перетворити рік та місяць в цілі числа, а значення температури - в числа з плаваючою точкою. Значення температури виражені в десятих долях градусів Цельсія.

Знаходимо середнє, відбираючи найбільше та найменше значення. Для виконання всіх перетворень даних використовується функція `parse_line` (рис. 4.14).

```
def parse_line(line):
    """ parses line of weather data
        removes values of -9999 (missing value)
    """

    # return None if line is empty
    if not line:
        return None

    # split out first 4 fields and string containing temperature values
    record, temperature_string = (line[:11], int(line[11:15]), int(line[15:17]), line[17:21]), line[21:]

    # raise exception if the temperature string is too short
    if len(temperature_string) < 248:
        raise ValueError("String not long enough - {}".format(temperature_string, str(line)))

    # use a list comprehension on the temperature_string to extract and convert the
    values = [float(temperature_string[i:i + 5])/10 for i in range(0, 248, 8)
              if not temperature_string[i:i + 5].startswith("-9999")]

    # get the number of values, the max and min, and calculate average
    count = len(values)
    tmax = round(max(values), 1)
    tmin = round(min(values), 1)
    mean = round(sum(values)/count, 1)

    # add the temperature summary values to the record fields extracted earlier and return
    return record + (tmax, tmin, mean, count)
```

Рис. 4.14. Перетворення даних за допомогою функції parse\_line

При тестуванні функція з першим рядком необроблених метеорологічних даних, отримаємо наступний результат, який подано на рис. 4.15.

```
parse_line(weather[:270])
('UPM00033345', 1881, 1, 'TMAX', 2.2, -15.5, -7.0, 31)
```

Рис. 4.15. Необроблені метеорологічні дані

Обробка всіх метеорологічних даних показана на рисунку 4.16.

```
weather_data = [parse_line(x) for x in weather.split("\n") if x]
len(weather_data)
weather_data[:10]

[('UPM00033345', 1881, 1, 'TMAX', 2.2, -15.5, -7.0, 31),
 ('UPM00033345', 1881, 1, 'TMIN', -0.6, -21.2, -12.9, 31),
 ('UPM00033345', 1881, 1, 'PRCP', 4.6, 0.0, 0.5, 31),
 ('UPM00033345', 1881, 1, 'TAVG', 1.4, -18.1, -9.8, 31),
 ('UPM00033345', 1881, 2, 'TMAX', 1.9, -12.2, -4.0, 28),
 ('UPM00033345', 1881, 2, 'TMIN', -0.6, -17.1, -8.1, 28),
 ('UPM00033345', 1881, 2, 'PRCP', 5.8, 0.0, 0.7, 28),
 ('UPM00033345', 1881, 2, 'TAVG', 0.0, -13.9, -6.1, 28),
 ('UPM00033345', 1881, 3, 'TMAX', 8.1, -6.8, 0.5, 31),
 ('UPM00033345', 1881, 3, 'TMIN', 1.9, -13.9, -4.5, 31)]
```

Рис. 4.16. Оброблені метеорологічні дані

Всі метеорологічні дані оброблені і занесені до списку, але для дослідження необхідні лише температурні дані, тому з масива даних відбираємо лише температурні значення.

Виконуємо відбір за допомогою двох генераторів списків: один отримує список TMAX, а другий список TMIN (рис. 4.17).

```
tmax_data = [x for x in weather_data if x[3] == 'TMAX']
tmin_data = [x for x in weather_data if x[3] == 'TMIN']
tmin_data[:5]

[('UPM00033345', 1881, 1, 'TMIN', -0.6, -21.2, -12.9, 31),
 ('UPM00033345', 1881, 2, 'TMIN', -0.6, -17.1, -8.1, 28),
 ('UPM00033345', 1881, 3, 'TMIN', 1.9, -13.9, -4.5, 31),
 ('UPM00033345', 1881, 6, 'TMIN', 19.4, 7.0, 12.3, 30),
 ('UPM00033345', 1881, 7, 'TMIN', 20.5, 10.9, 15.5, 31)]
```

Рис. 4.17. Відбір за генераторами списків

Відсортовані дані наносяться на графік. Для цього використовуються бібліотеки pandas та matplotlib. Для цього необхідно мати працюючий сервер Jupyter та встановлені бібліотеки pandas и matplotlib (рис. 4.18).

```
get_ipython().system('pip3 install pandas matplotlib')

Requirement already satisfied: pandas in /srv/conda/envs/notebook/lib/python3.7/site-packages (1.3.5)
Requirement already satisfied: matplotlib in /srv/conda/envs/notebook/lib/python3.7/site-packages (3.1.3)
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2.7.3 in /srv/conda/envs/notebook/lib/python3.7/site-packages (from pandas) (2.8.2)
Requirement already satisfied: pytz>=2017.3 in /srv/conda/envs/notebook/lib/python3.7/site-packages (from pandas) (2021.3)
Requirement already satisfied: numpy>=1.17.3 in /srv/conda/envs/notebook/lib/python3.7/site-packages (from pandas) (1.21.5)
Requirement already satisfied: kiwisolver>=1.0.1 in /srv/conda/envs/notebook/lib/python3.7/site-packages (from matplotlib) (1.3.2)
Requirement already satisfied: pyparsing!=2.0.4,!=2.1.2,!=2.1.6,>=2.0.1 in /srv/conda/envs/notebook/lib/python3.7/site-packages (from matplotlib) (3.0.6)
Requirement already satisfied: cycler>=0.10 in /srv/conda/envs/notebook/lib/python3.7/site-packages (from matplotlib) (0.11.0)
Requirement already satisfied: six>=1.5 in /srv/conda/envs/notebook/lib/python3.7/site-packages (from python-dateutil>=2.7.3->pandas) (1.16.0)
```

Рис. 4.18. Побудова відсортованих даних

Встановлюємо pandas (програмна бібліотека мовою Python для обробки та аналізу даних. Робота pandas з даними будується над бібліотекою NumPy, яка є інструментом більш низького рівня, представляє спеціальні структури даних і операції для маніпуляції числовими таблицями та часовими рядами) та matplotlib та створюємо кадри даних для записів TMAX та TMIN (рис. 4.19).

```
import pandas as pd
get_ipython().run_line_magic('matplotlib', 'inline')

tmax_df = pd.DataFrame(tmax_data, columns=['Station', 'Year', 'Month', 'Element', 'Max', 'Min', 'Mean', 'Days'])
tmin_df = pd.DataFrame(tmin_data, columns=['Station', 'Year', 'Month', 'Element', 'Max', 'Min', 'Mean', 'Days'])

# select Year, Min, Max, Mean columns, group by year, average and line plot
tmin_df[['Year', 'Min', 'Mean', 'Max']].groupby('Year').mean().plot(kind='line', figsize=(16, 4))

<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x7f3a151ba550>
```

Рис. 4.19 . Кадри даних записів TMAX та TMIN

На графіку можливо зобразити всі щомісячні значення, але за 140 річний період отримаємо надмірну кількість точок даних, а сезонні коливання температур ускладнюють виявлення закономірностей. Тому варто усереднити максимальне, середнє та мінімальне щомісячне значення, вирахуємо річні значення та нанесемо їх на графік. Оскільки дані завантажені в кадрі даних pandas, то групуємо дані за роками і вираховуємо середні значення (рис. 4.20).

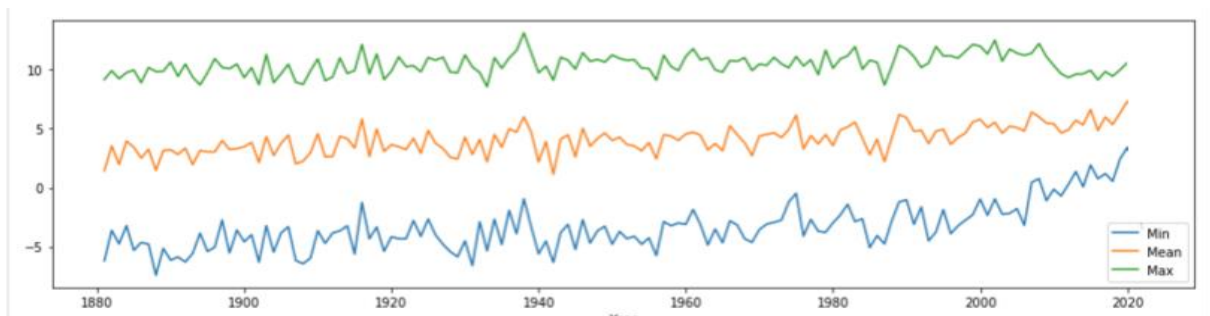


Рис. 4.20. Середні температурні значення

На основі дослідження довгострокових тенденцій максимальної, мінімальної та середньорічної температури повітря протягом 20 століття спостерігається постійне зростання як в мінімальному так і в середньому діапазоні температур, що неминуче впливає на підвищення максимальної температури приблизно на  $3,6^{\circ}\text{C}$ , що підтверджує зростання підвищення небезпеки виникнення пожежі.

Блок-схема алгоритму визначення впливу температури за даною технологією наведена на рис. 4.21.

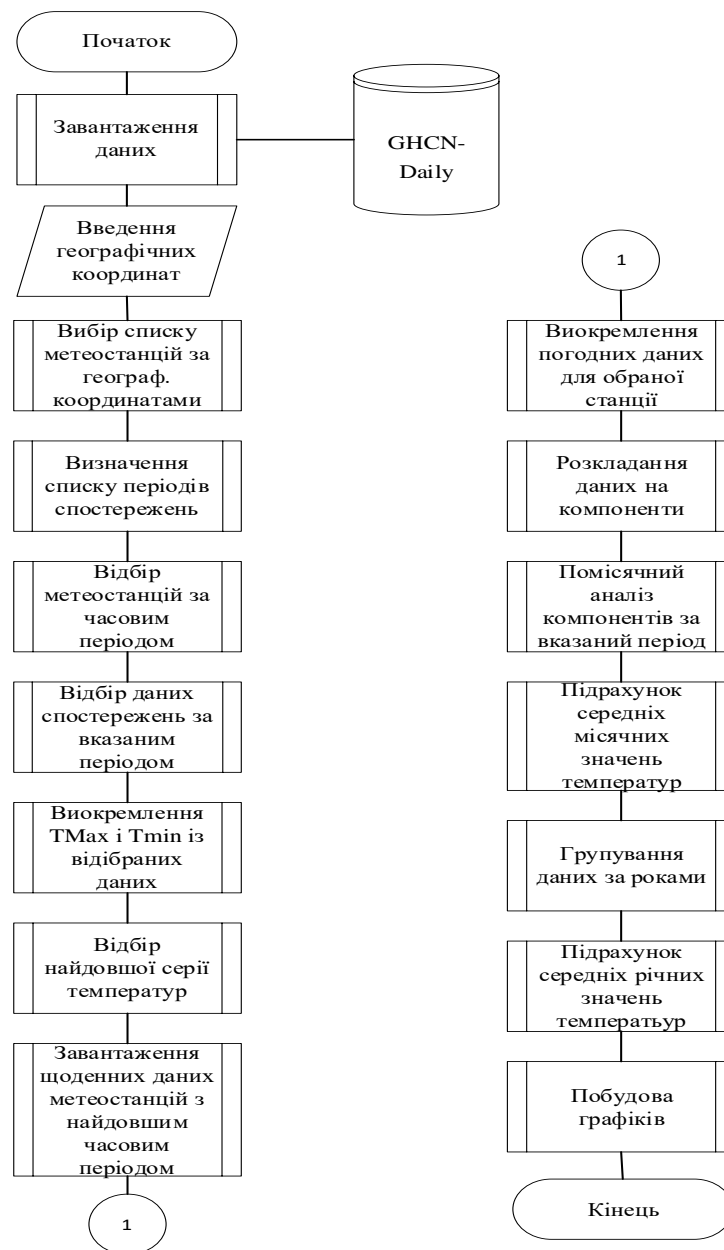


Рис. 4.21. Алгоритм визначення впливу температури на виникнення лісових пожеж

Результатом виконання даного алгоритму є дослідження температурних складових, розкладання даних на компоненти з їх аналізом, підрахунком середніх місячних та середніх річних значень температур з їх графічним відображенням.

#### 4.2. Реалізація алгоритму визначення територій пошкоджених пожежами

Для проведення дослідження була обрана територія Овруцького району Житомирської області. Використовуються дані космічних знімків літнього періоду 2020 року, що були зроблені супутником Landsat 8. Знімки знаходяться у вільному доступі і їх можна отримати за допомогою таких сайтів як EOS LandViewer чи USGS Earth Explorer. Знімки мають формат зображення GeoTIFF з географічною системою координат WGS 84 та опорною системою WRS-2. Вони містять одинадцять спектральних каналів, що являють собою різні набори даних, які використовуються для різних цілей (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Спектральні канали знімка Landsat 8

№ п/п	Назва	Довжина хвилі (мкм)	Розрізнявальна здатність (м/піксель)	Що краще показує
1	2	3	4	5
1	CoastalAerosol	0.433 – 0.453	30	Мілководдя, тонкі частинки пилу
2	Синій	0.450 – 0.515	30	Глибоководдя, атмосфера
3	Зелений	0.525 – 0.600	30	Рослинність
4	Червоний	0.630 – 0.680	30	Антропогенні об'єкти, ґрунт, рослинність
5	Ближній інфрачервоний	0.845 – 0.885	30	Берегові лінії, рослинність
6	Короткохвильовий інфрачервоний 1	1.560 – 1.660	30	Хмарність, вологість ґрунтів і рослинності
7	Короткохвильовий інфрачервоний 2	2.100 – 2.300	30	Хмарність, вологість ґрунтів і рослинності
8	Панхроматичний	0.500 – 0.680	15	Чорно-білі знімки, чіткі деталі

Продовження таблиці 4.1.

1	2	3	4	5
9	Перисті хмари	1.360 – 1.390	30	Перисті хмари
10	Тепловий інфрачервоний 1	10.30 – 11.30	100	Термальне картографування, оціночна вологість ґрунтів
11	Тепловий інфрачервоний 2	11.50 – 12.50	100	Покращене термальне картографування, оціночна вологість ґрунтів

Актуалізація стану лісових угідь виконана методами керованої класифікації, яка полягає у:

- визначенні класів лісових угідь;
- виконанні класифікації космічного знімка, який являє собою комбінацію спектральних каналів 3, 4, 5, 6, 7, 8;
- побудові векторного картографічного шару лісових масивів на основі растрового шару результуючої класифікації.

Визначення класів полягає в формуванні статистичних вибірок пікселів знімку для кожної породи. Вибір виконується шляхом позначення контрольних полігонів на знімку, там де ми точно знаємо породу дерев. Вибір проводиться за допомогою карти лісових виділів [121]. На базі цих статистичних вибірок формуються сигнатури класів.

#### **4.2.1. Створення геоінформаційної бази даних лісових угідь**

Основою для створення геоінформаційної бази даних (ГБД) лісового господарства є растрова тематична карта лісових кварталів та виділів. Для створення ГБД використані растрові тематичні карти лісових кварталів та лісових виділів Можарівського лісництва Овруцького району Житомирської області, створених на основі топографічних карт масштабу 1:50000. Основною одиницею поділу територій лісових насаджень є лісовий квартал.



Лісовий квартал – це частина лісу, яка обмежена просіками, смугами без лісу або природними розділеннями, найчастіше з яких виступають річки. Кожному кварталу відповідає постійний номер. Карта лісових кварталів представлена на рис. 4.22.

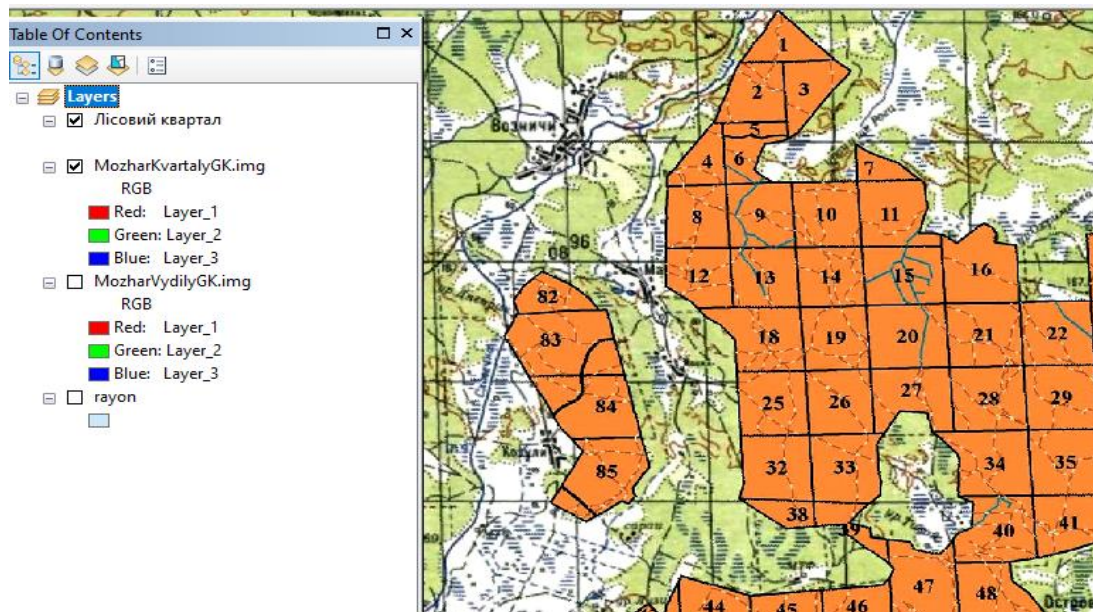


Рис. 4.22. Карта лісових кварталів

Елементарною класифікаційною одиницею поділу лісових земель за їх функціональними та якісними ознаками є виділ. На рис. 4.23 зображено карту лісових виділів.

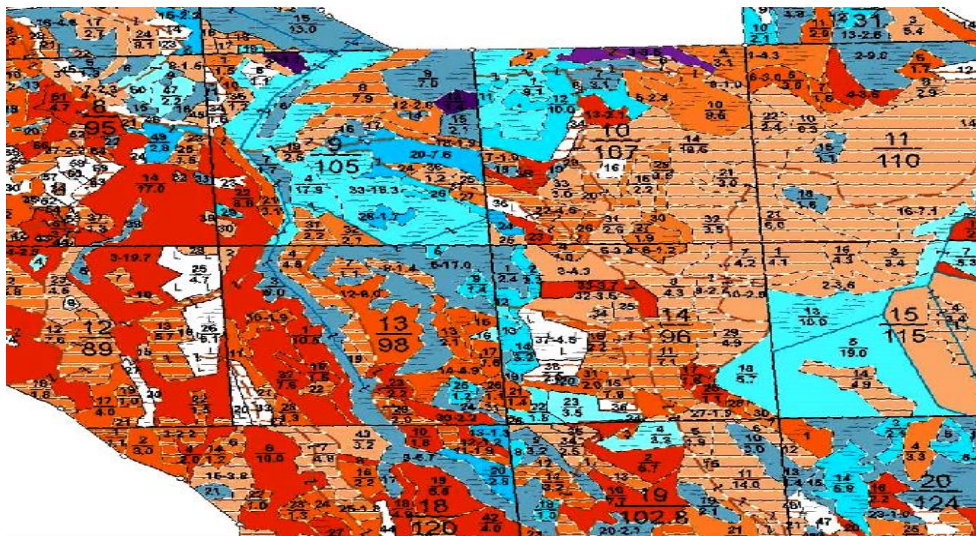


Рис. 4.23. Карта лісових виділів

Таблиця умовних позначень для класифікації виділів представлена на рис. 4.24.

# УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ОСНОВНИЙ ЕЛЕМЕНТ ЛІСУ	ГРУПИ ВІКУ				ЛІСОВІ КУЛЬТУРИ		НАБЕЛІДНИК НА ПОВЕРХНІ ЛІСОВОГО ПОДґРЯДУ
	ВІСІВНИЙ	СІДОВИЩОВИЙ	ТРИСТІВНИЙ	СМІТ-І ЧОРНИЙ	БІЛІСОВИЙ	ІНШІ КУЛЬТУРИ	
СОСНА МОРША							
ЯЛИКА, ЯЛИЦЯ							
ДУБ ЯСНОСТОВИЙ/ЛІС ДІЛ ЧЕРВОНИЙ							
ДУБ МІЗДОВОСТОВИЙ							
БУК, БІЛІС							
ГРЯБ, ПІЛЬОВИЙ							
ІСОН, КІЛІН							
АКАЦІЯ БІЛА, ПІДБІЛІС							
БЕРЕЗА							
ВІЛЬХА ЧОРНА							
ОСІКА, ВІЛЬХА СІРА							
ТОПОЛІ, ВІРБА							
ВІЛІА, ГОРІЛ, ПОСІДОВИЙ							
ІНШІ ДЕРЕВНІ ПОСІДОВИЙ							
ЧАСОВИЙ							

Категорії лісів					
Ліси природоохоронного, наукового, історикокультурного призначення					
Природні заповідники	Біосферні заповідники	Національні природні парки	Регіональні ландшафтні парки	Заповідні лісові урочища	Пам'ятки природи
Заповідники	Ліси історико-культурного призначення		Ліси наукового призначення, включені в спеціальні резервати		

Рекреаційно-оздоровчі ліси					
Ліси у межах національних парків	Ліси І і II зони охорони, охороняючи довкілля	Ліси І і II зони охорони, охороняючи довкілля	Ліси І і II зони охорони, охороняючи довкілля	Ліси І і II зони охорони, охороняючи довкілля	Ліси І і II зони охорони, охороняючи довкілля

Заповідні ліси					
Дерева заповідні лісові смуги	Полізаповідні лісові смуги	Ліси у смугах відокремлених каньйонів	Ліси у смугах відокремлених каньйонів	Ліси у смугах відокремлених каньйонів	Протилежні ліси
Ліси у межах охорони, заповідних	Ліси у межах охорони, заповідних	Ліси у межах охорони, заповідних	Ліси у межах охорони, заповідних	Ліси у межах охорони, заповідних	Ліси у межах охорони, заповідних

Межі адміністративного і господарського поділу					
ДЕРЖАВИ	ОБЛАСТЕЙ	РАЙОНІВ	МІСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ	СІЛЬСЬКОГО РАД	ЗАГОВІДНИКІВ, НАЦ. ПАРКІВ
ДЕРЖАВНИХ ПІДПРИЄМСТВ	ЛІСНИЦТВ	МАЙСТЕРСЬКИХ ДІЛНИЦЬ	ОБ'ЄКТІВ		

Квартальні проєкти, дороги та інші лінії					
Простори					
шириною до 5 м	шириною 5 - 10 м	по межах каналів	по протилежних розривах	по дорогах	з нечіткими межами
ліній розрив до 10 м	ліній розрив більше 10 м	господарські вулики	таксаційні вулики	залізничні вулики	залізничні вулики
шосе	дороги	поліпашні лісові дороги	лісові дороги	лісові дороги	ліній зв'язку
ліній електричних ліній	газопроводи	нафтопроводів	водопроводи	водопроводи	ліній зв'язку

Гідрографія					
озера, ставки	річки	меліораційні канали	джевели	оформлені	не оформлені

Контори лісових підприємств, населені пункти, інші об'єкти					
лісогосподарських підприємств	лісництва	лісові кордони	лісопункти	населені пункти	лотки для осушення лісу

Категорії земель					
Рідколісся			Плантації		
хвойні	тисово-дубові	м'яколисті	лісові розсадники, деревні школи	деревні тех. посіди	чгарникові тех. посіди
зрубів	згарбів, загінбів насадження	перелом	сади	болота	очеретина і тростина росл.
рілля	сенокоси	пасовища	заповідні землі	світлість розкриті	ліси

Рис. 4.24. Класифікація лісових виділів

Основою картографічної бази є:

- адміністративна карта України 1:200000;
- інтернет- ресурси (Open Street Map, космічні знімки території).

Для реалізації задачі відтворюється певний функціонал, що передбачає збір, збереження, накопичення та аналіз просторової бази лісових ресурсів регіону, забезпечення первинного обліку лісів та регіонального лісового кадастру.

Визначення класів полягає в формуванні статистичних вибірок пікселів знімку для кожної породи. Вибір виконується шляхом позначення контрольних полігонів на знімку, там де ми точно знаємо породу дерев. Такий вибір ми робимо за допомогою карти лісових виділів. На базі цих статистичних вибірок формуються сигнатури класів. Технологія створення ГБД передбачає наступний алгоритм:

- відбір зон зображень;



- встановлення навчальної вибірки;
- фільтрування вибірки;
- розбиття ознакового простору;
- встановлення внутрішньоінтервальної оцінки для класів;
- класифікація спектральних каналів.

За основу для створення тематичної векторної карти приймається растрова карта лісових угідь досліджуваної території. Це геологічно ректифікований («прив'язаний») до певної системи координат і проекції цифровий растровий шар. Для перетворення зображень в цифрові картографічні шари виконується геометричну корекцію. Геометрична корекція наземних опірних точок з використанням GCP (Ground Control Point – наземних опірних точок) полягає у зіставленні стійких у часі характерних точок на растровому зображенні з точками на топографічних картах (такими точками можуть бути перетин доріг, греблі тощо). Отримані координати точок на растровому зображенні є відповідними геодезичними координатами на картах та вихідними даними для визначення коефіцієнтів поліноміальної моделі перетворення знімка.

Мінімальна кількість обраних опорних точок визначається мірою полінома перетворення. Для растрового зображення характерні нелінійні спотворення, тому полінома має бути другого ступеня та вище. Схематично процес перетворення знімка можна показати на рис. 4.25.

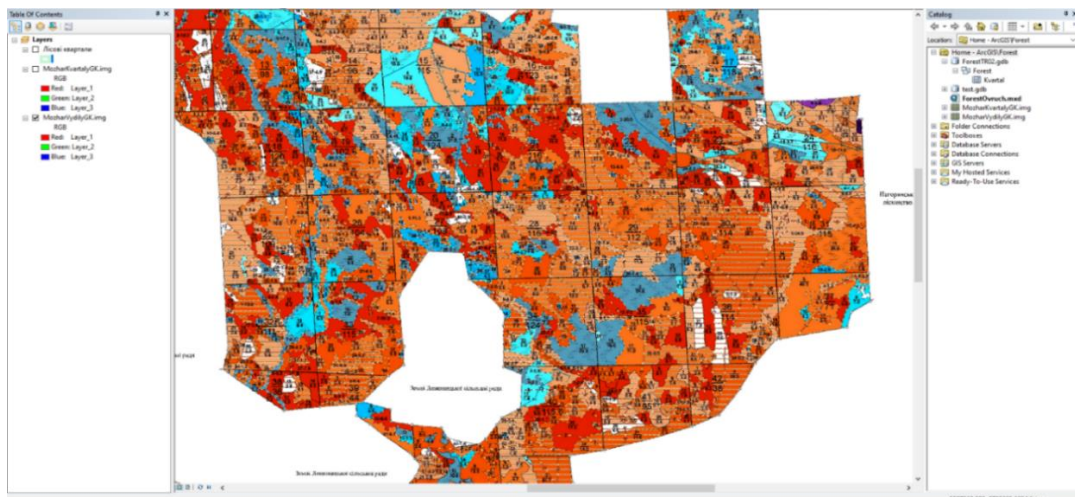


Рис. 4.25. Карта лісових виділів

Створення ГБД починається з обрання назви класу та вибору типу об'єктів, що зображені на рис. 4.26.

New Feature Class

Name:

Alias:

Type  
Type of features stored in this feature class:  
Polygon Features

Geometry Properties  
☐ Coordinates include M values. Used to store route data.  
☐ Coordinates include Z values. Used to store 3D data.

< Назад    Далее >    Отмена

Рис. 4.26. Назва класу та вибір типу об'єктів

Створюються поля номеру виділу та номеру кварталу, атрибут основного елементу лісу, вікової групи та пожежного індексу (рис. 4.27).

New Feature Class

Field Name	Data Type
OBJECTID	Object ID
SHAPE	Geometry
VydilNumber	Long Integer
KwartalNumber	Long Integer
ForestElement	Long Integer
AgeGroup	Long Integer
FireIndex	Double

Click any field to see its properties.

Field Properties

Alias	Вікова група
Allow NULL values	No
Default Value	

Import...

To add a new field, type the name into an empty row in the Field Name column, click in the Data Type column to choose the data type, then edit the Field Properties.

< Назад    Finish    Отмена

Рис. 4.27. Визначення полів об'єктів класу

Реалізація класифікації виділів відбувається через підтип поля основного елементу лісу та через атрибутивний домен для поля вікової групи. Для цього всередині створеного класу вводиться додаткова інформація за основним елементом лісу – підтипом. У вікні властивостей класу, обирається вкладка Subtypes. В даному дослідження полем для підтипу є Forest Element.

У таблиці на рис. 4.28 визначаються підтипи, з вказаним цілочисельним кодом (Code) та описом (Description). У полі підтипу за замовчуванням (Default Subtype) обирається один з підтипів, що встановлюється автоматично.

Feature Class Properties

General Editor Tracking XY Coordinate System Domain, Resolution and Tolerance  
Fields Indexes Subtypes Feature Extent Relationships Representations

Subtype Field: ForestElement

Default Subtype: Сосна, модрина

Subtypes:

Code	Description
0	Сосна, модрина
1	Ялина, ялиця
2	Дуб високоствовбурний, дуб червоний
3	Дуб низькоствовбурний
4	Бук, явір
5	Гоав. їммові

Default Values and Domains:

Field Name	Default Value	Domain
VydilNumber		
KvartalNumber		
AgeGroup		
FireIndex		
SHAPE_Length		
SHAPE_Area		

Use Defaults Domains...

OK Отмена Применить

Рис. 4.28. Створення підтипу основних елементів лісу

Класифікація за віковою групою реалізовується з використанням атрибутивного домену, що визначає та обмежує допустимі для поля значення.

У вкладці Subtypes обирається кнопка Domains та створюється новий домен для вікової групи з типом кодованих значень. Тобто поле з цим доменом надалі гарантовано матиме одне з закодованих значень.

У першій таблиці, що зображено на рис. 4.29, вводиться ім'я домену та його опис. У Domain Properties обирається тип Coded Values та у нижній

таблиці за аналогією з підтипом вказується цілочисельний код та визначення для кожного допустимого значення. Полю вікової групи AgeGroup присвоюється новий створений домен у вкладці Subtypes таблиці Default Values and Domains.

Domain Name	Description
AgeGroup	Вікова група

Domain Properties:

Field Type	Long Integer
Domain Type	Coded Values
Split policy	Default Value
Merge policy	Default Value

Coded Values:

Code	Description
0	Молодняки
1	Середньовікові
2	Пристигаючі
3	Стиглі та перестиглі

Рис. 4.29. Створення атрибутивного домену вікової групи

Subtype Field: ForestElement

Default Subtype: Безліса ділянка

Subtypes:

Code	Description
0	Сосна, модрина
1	Ялина, ялиця
2	Дуб високоствовбурний, дуб червоний
3	Дуб низькоствовбурний
4	Бук, явір
5	Гваб. ільмові

Default Values and Domains:

Field Name	Default Value	Domain
VydilNumber		
KvartalNumber		
AgeGroup		AgeGroup
FireIndex		
SHAPE_Length		
SHAPE_Area		

Рис. 4.30. Присвоєння полю вікової групи створеного домену

Домен встановлюється не для всього класу, а окремо для кожного створеного підтипу. Обирається один з досліджуваних лісових кварталів, в даному випадку це 56-ий та будується перший просторовий об'єкт- перший виділ. У вікні Attributes крім стандартного редагування полів, обирається значення атрибутів основного елемента лісу та вікової групи з випадуючого списку, що зображено на рис. 4.31.

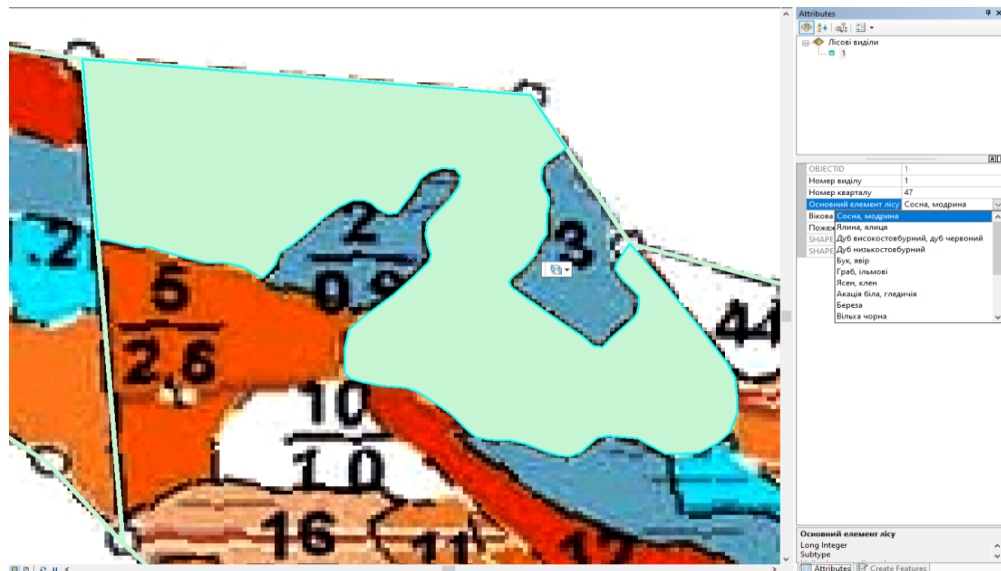


Рис. 4.31. Вибір підтипу в полі основного елемента лісу

На рис. 4.32 представлено побудову решти лісових виділів кварталу та їх зображення відповідно карті.

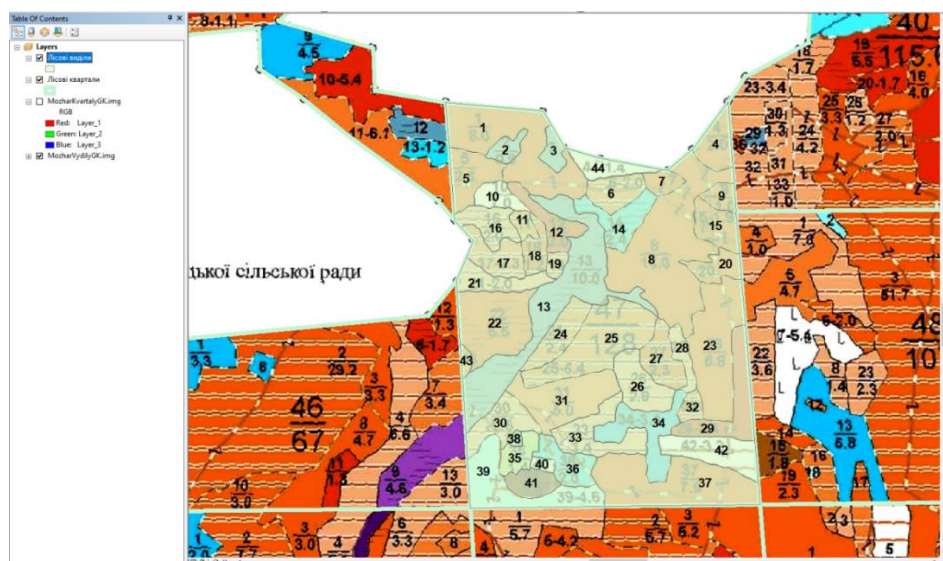


Рис. 4.32. Карта лісових виділів

Налаштування відображення виділів відбувається за допомогою додавання до визначеної класифікації об'єктів (за основним елементом та вікової групи) умовних позначень кольором. В вікні властивостей шару «Лісові виділи» відкривається вкладка Symbology та в полі Show обирається Categories/Unique values, many fields. Таким чином відбувається налаштування різного відображення для кожної унікальної комбінації значень з трьох або менше полів (рис. 4.33).

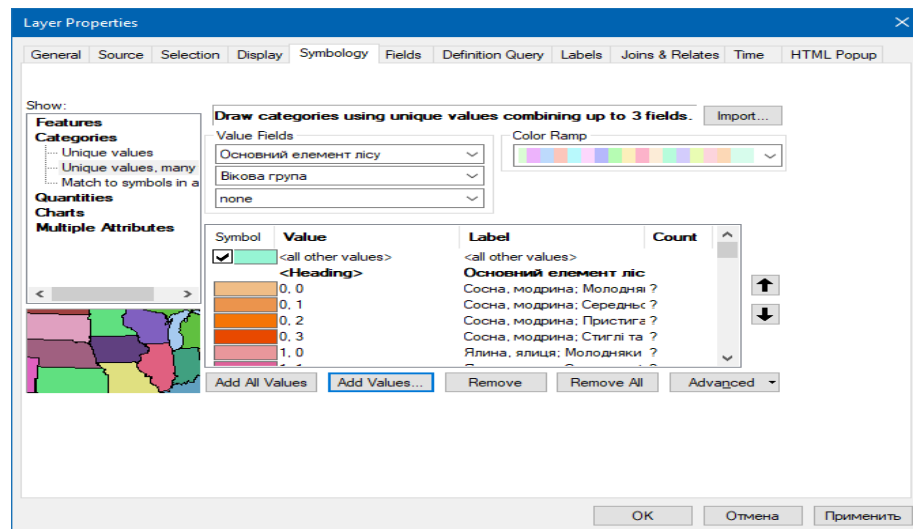


Рис. 4.33. Налаштування кольорів за двома полями

Вигляд побудованих виділів з зазначенням умовних позначень зображено на рис. 4.34.

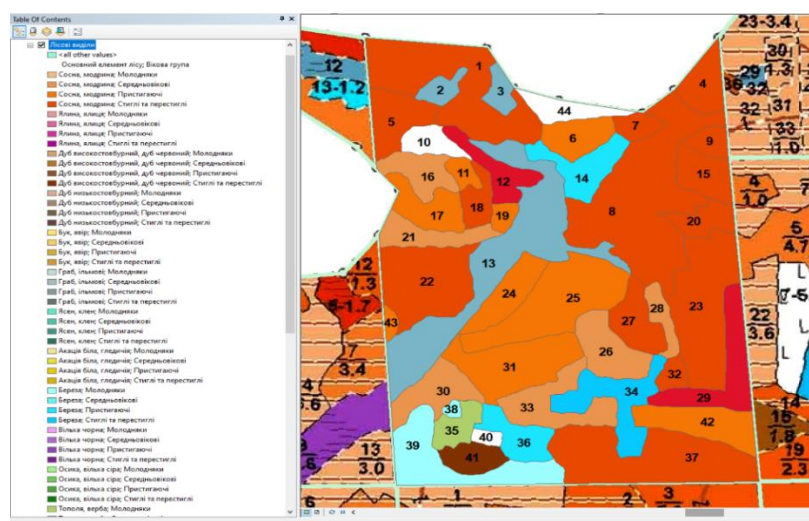


Рис. 4.34. Вигляд побудованих виділів



Використовується керована класифікація на основі класифікатора Байєса, що заснований на принципі максимуму правдоподібності апостеріорної ймовірності. Для кожного досліджуваного пікселя космічного знімка обчислюються функції вірогідності кожного з класів, а далі за їх результатами обчислюються апостеріорні ймовірності класів за формулою Байєса

$$P(i/f) = \frac{P(f/i) \cdot P(i)}{P(f)}, \quad i - \text{число класів, де } P(i) - \text{апостеріорні ймовірності}$$

кожного класу,  $f$  – вектор ознак пікселя,  $P(f/i)$  – розподіл навчальної вибірки, повна ймовірність  $P(f)$  приналежності пікселів до класів

визначається за формулою  $P(f) = \sum_{i=1}^n P(f/i) \cdot P(i)$ . Висновок про

приналежність пікселів формулюється за допомогою апостеріорних ймовірностей  $P(i/f)$ , за яким досліджуваний піксель належить до того класу, чия апостеріорна ймовірність більша порівняно з іншими класами.

Даний класифікатор є оптимальним, оскільки у всіх випадках дослідження він дасть однозначну відповідь про приналежність пікселя одному з класів. На рис. 4.35 представлено класифікацію породного складу в лісах Мажарівського лісництва.

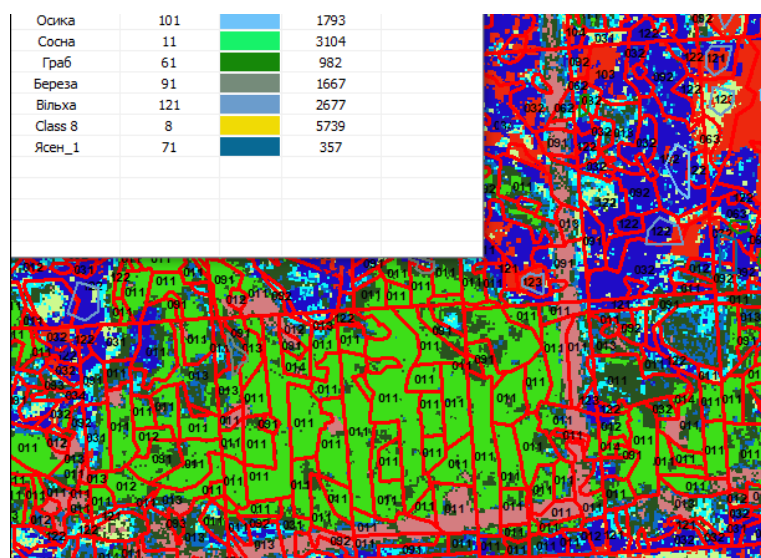


Рис. 4.35. Класифікація породного складу по лісових виділах Мажарівського лісництва

Таким чином було створено клас просторових об'єктів Feature Class з використанням підтипів та атрибутивних доменів, що є лісові виділами.

Встановлено, що 70 % лісів є сосновими. Також в лісах зустрічаються осикові, грабові, березові, вільхові та ясеневі породи дерев. Відомо, що соснові ліси є найбільш потенційно небезпечними об'єктами з огляду на лісові пожежі [120]. Протягом останніх років збільшилась кількість виникнення лісових пожеж хвойних порід. Тому об'єктивна і своєчасна інформація про наслідки пожеж необхідна для вирішення широкого класу прикладних завдань лісового господарства, включаючи прогнозування виникнення пожеж та створення імітаційної моделі розвитку лісової пожежі.

#### **4.2.2. Метод дешифрування супутникових знімків для ідентифікації пожежонебезпечних місць та визначення територій, уражених пожежами**

В основі алгоритму визначення територій, пошкоджених пожежами є дослідження даних космічних знімків, зроблених до та після пожежі відповідно. Використовуються знімки супутника Landsat 8 території Можарівського лісництва. Знімки містять одну й ту ж географічну область місця пожежі, або вони можуть бути обрізані до необхідної області за допомогою спеціальних програм, наприклад, таких як QGIS [125-126]. Космічні знімки Landsat 8 знаходяться у вільному доступі, їх можна отримати за допомогою таких сайтів як EOS LandViewer чи USGS Earth Explorer. Знімки мають формат зображення GeoTIFF з географічною системою координат WGS 84 та опорною системою WRS-2. Вони містять одинадцять спектральних каналів, що являють собою різні набори даних, які використовуються для різних цілей (табл. 4.1).

Для визначення спалених пожежею територій використовується порівняння значень нормалізованого індексу згарища NBR до та після пожежі, який розраховується за формулою:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}, \quad (4.1)$$

де NIR – ближній інфрачервоний канал (5 канал з таблиці 4.1), SWIR – короткохвильовий інфрачервоний 2 канал (7 канал з таблиці 4.1).

Даний індекс показує ураження лісових територій пожежею. Результат розрахунку нормалізованого індексу згарищ зі шкалою від –1.00 до 1.00, де –1.00 – абсолютно не вражені території, а 1.00 – повністю вигорілі. Це показано на рис. 4.36, де розташовуються знімки до та після пожежі.

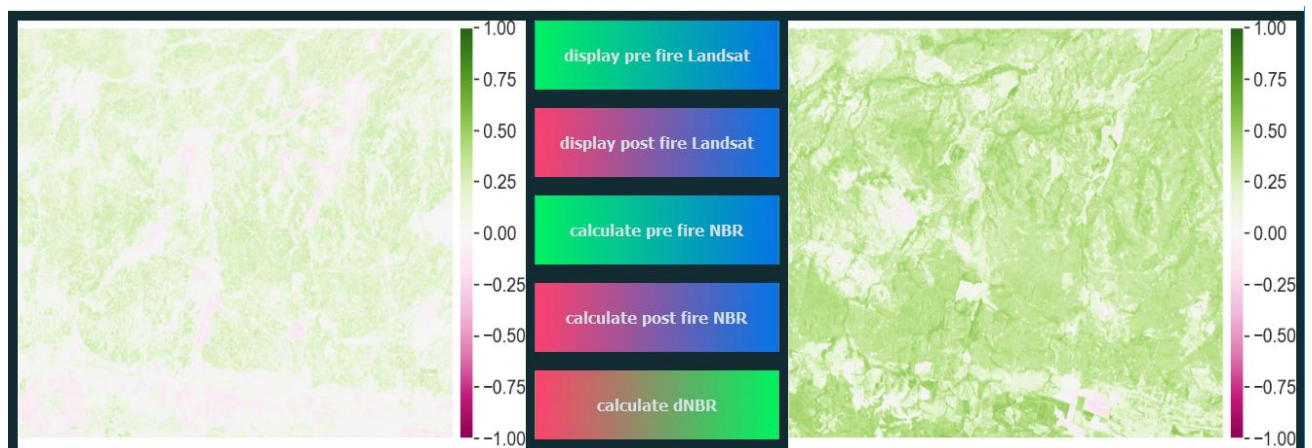


Рис. 4.36. Відображення індексів NBR до і після пожежі

Для порівняння зміни індексу NBR між періодом до пожежі та після неї використовується показник DNBR, який знаходиться за формулою:

$$DNBR = (prefire\ NBR) - (postfire\ NBR), \quad (4.2)$$

де *prefire NBR* – показник індексу NBR до пожежі, *postfire NBR* – показник індексу NBR після пожежі.

Для визначення рівнів враження території отримані дані показника DNBR, які класифікуються: рівень зростаючої території (на графіку показано темно-зеленим кольором), неспаленої – світло-зеленим, низько-враженої – бежевим, середньо-враженої – помаранчевим та сильно-враженої території – темно-червоним (рис. 4.37). Вікно також містить спеціальне поле для виводу спаленої території в метрах квадратних, яка розраховується за отриманим показником.

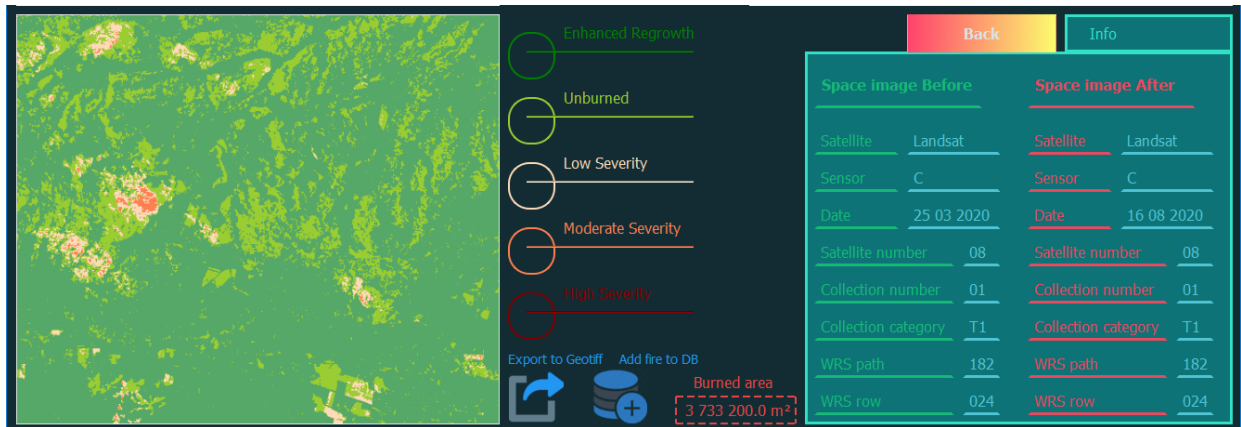


Рис. 4.37. Відображення показника індексу DNBR

Система експортує отримані дані про область пожеж в форматі GeoTIFF, що зберігає географічні координати об'єкту та забезпечує сумісність використання отриманої інформації з різними географічними системами.

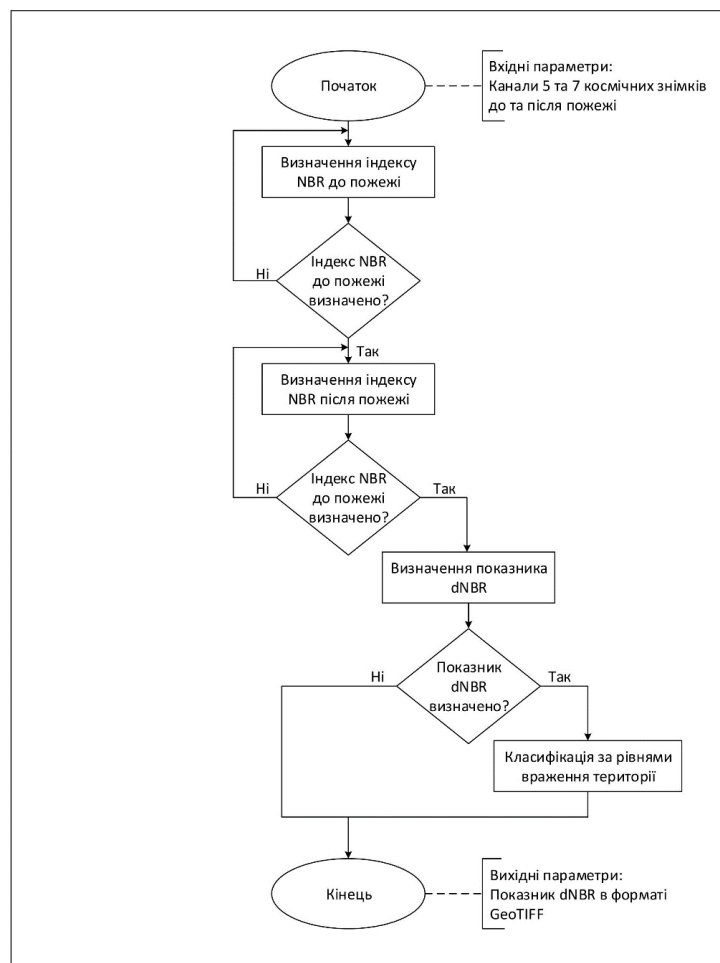


Рис. 4.38. Алгоритм визначення спалених територій

Результатом виконання даного алгоритму є показник DNBR в форматі GeoTIFF, який може бути використаний в будь-яких геоінформаційних систем.

#### 4.3. Математична модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної математичної моделі Байєса

Основним завданням впровадження системи є побудова власної прогнозуючої моделі з подальшим логічним виводом результату. До функціоналу системи належить аналіз статистичних даних, їх класифікації та виведення прогнозованого результату на основі статистичних даних Державного підприємства «Словечанське лісове господарство», розташованого в північній частині Житомирської області.

Універсальність полягає в зручному доступі користувача до інтерфейсу для роботи з системою, що надає можливість вибору, коригуванню статистичних даних, надання нових параметрів, які будуть враховані під час обробки інформації.

На лісових угіддях Словечанського лісгоспу за період 2016-2021 рр. зафіксовано 80 випадків пожеж з площею пошкодження лісів 5988,82 га (рис. 4.39).



Рис. 4.39. Динаміка кількості випадків лісових пожеж за період 2016-2021 рр.

Аналіз особливостей виникнення пожеж у лісах Словечанського лісгоспу свідчить, що кількість пожеж, пошкоджена ними площа, середня горимість суттєво змінюються як у часі, так і в просторі залежно від умов місцезростання, складу насаджень, відстані до населених пунктів тощо.

Територія Словечанського лісгоспу характеризується 1 та 2 класом пожежної небезпеки, що обумовлено породною структурою вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок: молодняки хвойних порід складають 21%, середньовікові – 40,3%, пристигаючі та стиглі – 38,7%, а насадження листяних порід – 29,5%.

Для прогнозування лісових пожеж, своєчасного їхнього попередження та швидкої ліквідації потрібно знати ймовірність їхнього виникнення протягом пожежонебезпечного періоду, яка залежить від:

- таксаційних характеристик лісових насаджень;
- тип лісорослинних умов (ТЛУ);
- захищеності насаджень в лісі;
- кліматичних умов.

Для аналізу оберемо Можарівське лісництво ДП «Словечанський лісгосп», де в квітні 2020 року пройшла велика лісова пожежа (рис. 4.40). Площа лісових угідь лісництва становить 8298 га.

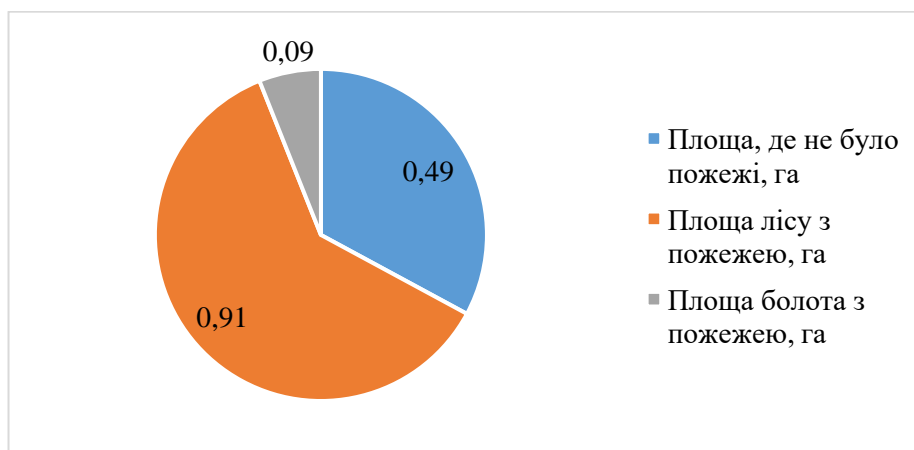


Рис. 4.40. Велика лісова пожежа в Можарівському лісництві в 2020 році

Маючи статистичні дані по всіх таксаційних характеристиках кварталу та всіх виділів всередині, можна зробити оцінку пожежонебезпечності кожного кварталу окремо по всьому лісництву і визначити класи пожежної небезпеки [19] (табл. 4.2).

Таблиця 4.2.

## Класи пожежної безпеки

Клас	Опис
1 клас	Насадження хвойних порід віком 40 і менше років в усіх типах умов місцезростання (ТУМ). Насадження хвойних порід старші 40 років з індексами 0 (дуже сухі), 1 (сухі).
2 клас	Насадження хвойних порід старші 40 років в ТУМ з індексом 2 (свіжі).
3 клас	Насадження хвойних порід старші 40 років в ТУМ з індексами 3 (вологі) і 4 (сирі).
4 клас	Насадження хвойних порід старші 40 років в ТУМ з індексом 5 (мокрі).
5 клас	Листяні насадження в ТУМ з індексом 5. Не вкриті лісовою рослинністю землі (лісові шляхи, просіки, візири, протипожежні розриви). Нелісові землі (крім сіножатей, пасовищ, садів, ягідників).

Нехай  $K$  – подія, яка характеризує виникнення пожежі в лісі. Площа лісових угідь Можарівського лісництва поділене на 85 кварталів, отже маємо

85 гіпотез  $H_1, H_2, \dots, H_{85}$ . Для того, щоб визначити ймовірність кожної гіпотези, потрібно площу кварталу поділити на загальну площу всіх досліджуваних кварталів лісництва, тобто

$$P(H_i) = \frac{S_{H_i}}{S}, \quad (4.3)$$

$$\text{де } \sum_{i=1}^{85} P(H_i) = 1.$$

Для прикладу візьмемо територію з 4 кварталів (55,56,63,64), загальна площа яких становить 286,5 га з лісовими насадженнями:

$$P(H_{55}) = \frac{S_{H_{55}}}{S} = \frac{104,4}{286,5} = 0,36, \quad P(H_{56}) = \frac{S_{H_{56}}}{S} = \frac{92,0}{286,5} = 0,32$$

$$P(H_{63}) = \frac{S_{H_{63}}}{S} = \frac{61,7}{286,5} = 0,22, \quad P(H_{64}) = \frac{S_{H_{64}}}{S} = \frac{28,4}{286,5} = 0,10.$$

Для визначення ймовірності настання пожежі в кожному кварталі визначимо ознаки, які впливають на її виникнення:

- ознака  $k_1$  – склад лісових насаджень;
- ознака  $k_2$  – повнота насаджень;
- ознака  $k_3$  – вік лісових насаджень;
- ознака  $k_4$  – тип лісу ТЛУ.

Для того, щоб визначити ймовірність появи  $k_i$  ознаки в кварталі  $H_i$ , потрібно поділити площу лісу в кварталі, який має ознаку  $k_i$ , на площу всього кварталу, тобто

$$P(k_{ij}/H_i) = \frac{S_{k_{ij}}}{S_{H_i}} \quad (4.4)$$

Ознака  $k_1$  – склад насадження – це частка деревних порід, які є в лісовому насадженні. Визначається окремо для кожного виділу всіх кварталів.



Наприклад, 7Сз3Бп+Ос характеризує змішаний деревостан, в запасі якого 70% сосни, 30% берези, а плюс означає, що осики в складі від 2 до 5%. Отже, частку дерев можна пояснити так: 68% сосни, 30% берези і 2% осики.

Основними лісовими насадженнями в Можарівському лісництві є:

- $k_{11}$  – сосна звичайна (Сз);
- $k_{12}$  – береза повисла (Бп);
- $k_{13}$  – дуб звичайний (Дз);
- $k_{14}$  – вільха чорна (Влч);
- $k_{15}$  – осика (Ос).

Найбільш пожежонебезпечними є соснові насадження, тому для цієї ознаки із формули породного складу потрібно визначати середнє значення у відсотках сосни звичайної для кожного кварталу. Для прикладу візьмемо 64 квартал (табл. 4.3).

Таблиця 4.3.

Таксаційні характеристики 64 кварталу

Квартал	Виділ	Площа,га	Склад насадження	Група віку	Тип лісу ТЛУ	Повнота
64	1	0,4	10Сз+Бп	6	ВЗДС	0,7
64	2	9,0	10Сз+Бп	7	А2С	0,7
64	3	7,6	10Сз+Бп	6	А2С	0,8
64	4	1,0	10Сз+Бп	6	А2С	0,7
64	5	4,5	8Сз2Бп+Дз	3	С2ГДС	0,7
64	6	3,0	10Сз	6	В2ДС	0,6
64	7	1,6	6Сз4Бп+Дз	3	ВЗДС	0,7
64	8	1,3	10Сз	6	В2ДС	0,6

Більша територія кварталу містить соснові насадження – в середньому 95%, тому:

$$P(k_{11}/H_{64}) = \frac{0,4 \cdot 1 + 0,9 \cdot 1 + 7,6 \cdot 1 + 1,0 \cdot 1 + 4,5 \cdot 0,8 + 3,0 \cdot 1 + 1,6 \cdot 0,6 + 1,3 \cdot 1}{28,4} = 0,95$$

Ознака  $k_2$  – повнота деревостану – це показник щільності стояння стовбурів на одиниці площі.

Абсолютна частота виражається у м<sup>2</sup> через суму площ поперечних перетинів стовбурів даного насадження на одиницю площі га.

Відносна частота виражається в одиниці та її частках як співвідношення суми площ поперечних перетинів стовбурів даного насадження до суми площ поперечних перетинів нормального насадження (табл. 4.4) [18].

Таблиця 4.4.

## Повнота деревостану

Насадження за відносною повнотою	Показник відносної повноти
Високоповотні	0,8 – 1
Середньоповотні	0,7 – 0,5
Низькоповотні	0,4 – 0,3
Рідколісся	0,2 – 0,1
Поодинокі дерева	до 0,1

Найбільш пожежонебезпечними є насадження з повнотою 0,7, 0,8, 0,9.

Отже, можна виділити такі групи за повнотою насаджень:

- $k_{21}$  – повнота 0,7 – 1,
- $k_{22}$  – повнота 0 – 0,6.

На території 64 кварталу є високоповотні (3 виділ) та середньоповотні (1-2, 4-8 виділи) насадження, тому

$$P(k_{21}/H_{64}) = \frac{0,4 + 9,0 + 7,6 + 1,0 + 4,5 + 1,6}{28,4} = 0,85.$$

Ознака  $k_3$  – вік дерев – соснові молодняки віком до 40 років (група 2 і 3 класу) відносять до I класу природної пожежної небезпеки. У таких насадженнях пожежі майже завжди переходять у верхові, завдаючи значних ушкоджень, а ліквідація таких пожеж є складною.

Найбільшу 15-20 років), у яких низова пожежа переходить у верхову та зростає у 3-5 разів, порівняно з насадженнями віком понад 20 років [21].

Отже, можна виділити такі групи віку:

- $k_{31}$  – групи віку 2 і 3 (молодняки 1 і 2 класу до 40 років),
- $k_{32}$  – групи віку 4-8 (інші, більше 40 років).

В 64 кварталі в середньому – це пристигаючі насадження (71-80 років), тобто 63 %.

I клас пожежної небезпеки – насадження групи віку 2 і 3 (5 і 7 виділи):

$$P(k_{31}/H_{64}) = \frac{S_{k_{31}}}{S_{H_{64}}} = \frac{6,1}{28,4} = 0,21,$$

II-IV класи пожежної небезпеки – групи віку 4-8 (1-4,6,8 виділи):

$$P(k_{32}/H_{64}) = \frac{S_{k_{32}}}{S_{H_{64}}} = \frac{22,3}{28,4} = 0,79.$$

Ознака  $k_4$  – тип лісу – це ділянка лісу або їх сукупність, які характеризуються єдиним ТЛУ, однаковим складом деревних порід, кількістю ярусів, аналогічною фауною і потребують однакових лісогосподарських заходів при рівних економічних умовах [19]. Основними є бір, суббір, сугруд (судіброва), груд (діброва).

Найбільш пожежонебезпечними є насадження в борах та суборах з індексами 0, 1 (І клас пожежної небезпеки) та індексом 2 (ІІ клас пожежної небезпеки) (табл. 4.5).

Таблиця 4.5.

## Тип лісорослинних умов

Ознака	Клас	Індекси	Назва
$k_{41}$	І клас (0,1)	A0C	Дуже сухий сосновий бір
		A1C	Сухий сосновий бір
		B1ДС	Сухий дубово-сосновий субір
		C1ГДС	Сухий грабово-дубово-сосновий сугруд
$k_{42}$	ІІ клас (2)	A2C	Свіжий сосновий бір
		B2ДС	Свіжий дубово-сосновий субір
		C2ГДС	Свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд
$k_{43}$	ІІІ клас (3,4)	A3C	Вологий сосновий бір
		A4C	Сирий сосновий бір
		B3ДС	Вологий дубово-сосновий субір
		B4ДС	Сирий дубово-сосновий субір
		C3ГДС	Вологий грабово-дубово-сосновий сугруд
		C4ГДС	Сирий грабово-дубово-сосновий сугруд
$k_{44}$	ІV клас (5)	A5C	Мокрий сосновий бір
		B5БС	Мокрий березово-сосновий субір
		C5ВЛЧ	Вологий чорновільховий сугруд

Для 64 кварталу:

- I клас пожежної небезпеки (5 і 7 виділи):

$$P(k_{41}/H_{64}) = P(k_{31}/H_{64}) = \frac{S_{k_{31}}}{S_{H_{64}}} = \frac{6,1}{28,4} = 0,21;$$

- II клас пожежної небезпеки (2,3,4, 6 і 8 виділи):

$$P(k_{42}/H_{64}) = \frac{S_{k_{42}}}{S_{H_{64}}} = \frac{9,0 + 7,6 + 1,0 + 3,0 + 1,3}{28,4} = 0,78;$$

- III клас пожежної небезпеки (1 виділ):

$$P(k_{43}/H_{64}) = \frac{S_{k_{42}}}{S_{H_{64}}} = \frac{0,4}{28,4} = 0,01.$$

Порахуємо ймовірність настання пожежі в 64 кварталі:

- I клас пожежної небезпеки:

$$P(H_{64})P(K_1/H_{64}) = P(H_{64})P(k_{11}/H_{64})P(k_{21}/H_{64})P(k_{31}/H_{64})P(k_{41}/H_{64}) = \\ = 0,10 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,21 \cdot 0,21 = 0,004;$$

- II клас пожежної небезпеки:

$$P(H_{64})P(K_2/H_{64}) = P(H_{64})P(k_{11}/H_{64})P(k_{21}/H_{64})P(k_{32}/H_{64})P(k_{42}/H_{64}) = \\ = 0,10 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,79 \cdot 0,78 = 0,05;$$

- III клас пожежної небезпеки:

$$P(H_{64})P(K_3/H_{64}) = P(H_{64})P(k_{11}/H_{64})P(k_{21}/H_{64})P(k_{32}/H_{64})P(k_{43}/H_{64}) = \\ = 0,10 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,79 \cdot 0,01 = 0,0006$$

Отже, для 64 кварталу найімовірніше II клас пожежної небезпеки.

Для 55 кварталу проводимо аналогічні розрахунки й отримуємо:

- I клас пожежної небезпеки –  $P(H_{55})P(K_1/H_{55}) = 0,003;$

- II клас пожежної небезпеки –  $P(H_{55})P(K_2/H_{55}) = 0,17;$

- III клас пожежної небезпеки –  $P(H_{55})P(K_3/H_{55}) = 0,039$ .

Отже, по 55 кварталу найімовірніше 2 клас пожежної небезпеки.

Для 56 кварталу проводимо аналогічні розрахунки й отримуємо:

- I клас пожежної небезпеки –  $P(H_{56})P(K_1/H_{56}) = 0,005$ ;

- II клас пожежної небезпеки –  $P(H_{56})P(K_2/H_{56}) = 0,12$ ;

- III клас пожежної небезпеки –  $P(H_{56})P(K_3/H_{56}) = 0,023$ .

Отже, по 56 кварталу найімовірніше 2 клас пожежної небезпеки.

Для 63 кварталу проводимо аналогічні розрахунки й отримуємо:

- I клас пожежної небезпеки –  $P(H_{63})P(K_1/H_{63}) = 0,005$ ;

- II клас пожежної небезпеки –  $P(H_{63})P(K_2/H_{63}) = 0,059$ ;

- III клас пожежної небезпеки –  $P(H_{63})P(K_3/H_{63}) = 0,008$ ;

- IV клас пожежної небезпеки –  $P(H_{63})P(K_4/H_{63}) = 0,005$ .

Отже, по 63 кварталу найімовірніше 2 клас пожежної небезпеки.

За формулою Байєса зробимо оцінку пожежонебезпечності кожного кварталу. Для цього спочатку визначимо повну ймовірність того, що в лісі виникне ймовірність пожежі 2 класу, тобто виберемо подію  $K_2$ :

$$P(K_2) = P(H_{55})P(K_2/H_{55}) + P(H_{56})P(K_2/H_{56}) + P(H_{63})P(K_2/H_{63}) + P(H_{64})P(K_2/H_{64}) = 0,17 + 0,12 + 0,059 + 0,05 = 0,399.$$

За формулою Байєса оцінимо ймовірність настання пожежі за II класом пожежної небезпеки в кожному з наведених кварталі:

$$P(H_{55}/K_2) = \frac{P(H_{55})P(K_2/H_{55})}{P(K_2)} = \frac{0,17}{0,399} = 0,43,$$

$$P(H_{56}/K_2) = \frac{P(H_{56})P(K_2/H_{56})}{P(K_2)} = \frac{0,12}{0,399} = 0,30,$$

$$P(H_{63}/K_2) = \frac{P(H_{63})P(K_2/H_{63})}{P(K_2)} = \frac{0,059}{0,399} = 0,15,$$

$$P(H_{64}/K_2) = \frac{P(H_{64})P(K_2/H_{64})}{P(K_2)} = \frac{0,05}{0,399} = 0,13.$$

Отже, серед кварталів 55,56,63,64 найбільша ймовірність настання пожежі II класу в 55 кварталі, потім в 56, потім в 63, потім в 64.

У Можарівському лісництві виявлено I-IV класи пожежної небезпеки: I клас – 6485,6 га, II клас – 1210,3 га, III клас – 516 га та IV клас – 86,1 га (рис. 4.41).

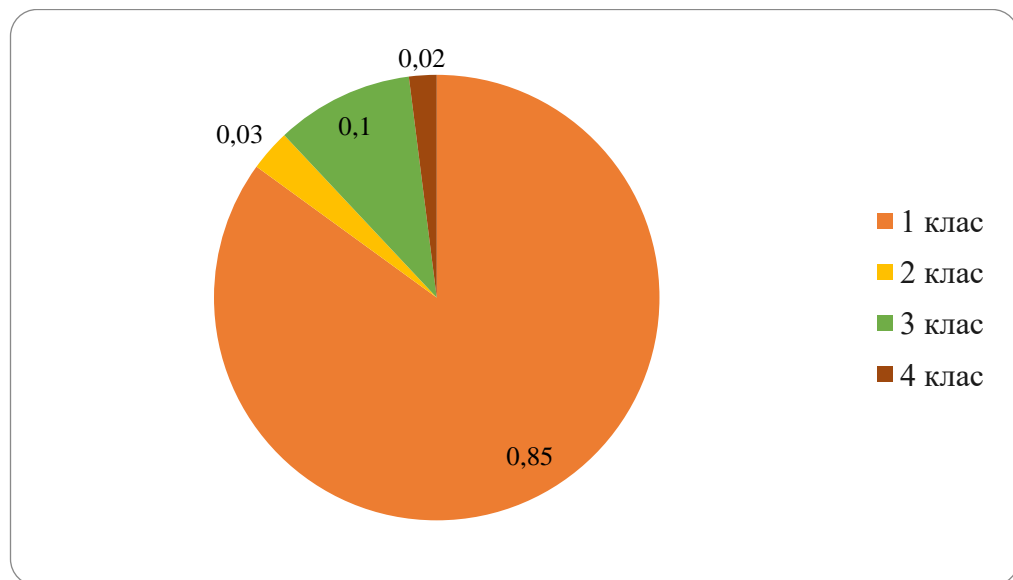


Рис. 4.41. Розподіл площі лісових земель за класами пожежної небезпеки у відсотках

На рис. 4.42 приведена тематична карта розподілу ймовірностей виникнення пожежі, розрахована за формулою Байєса, де кольорами позначені класи пожежної небезпеки.

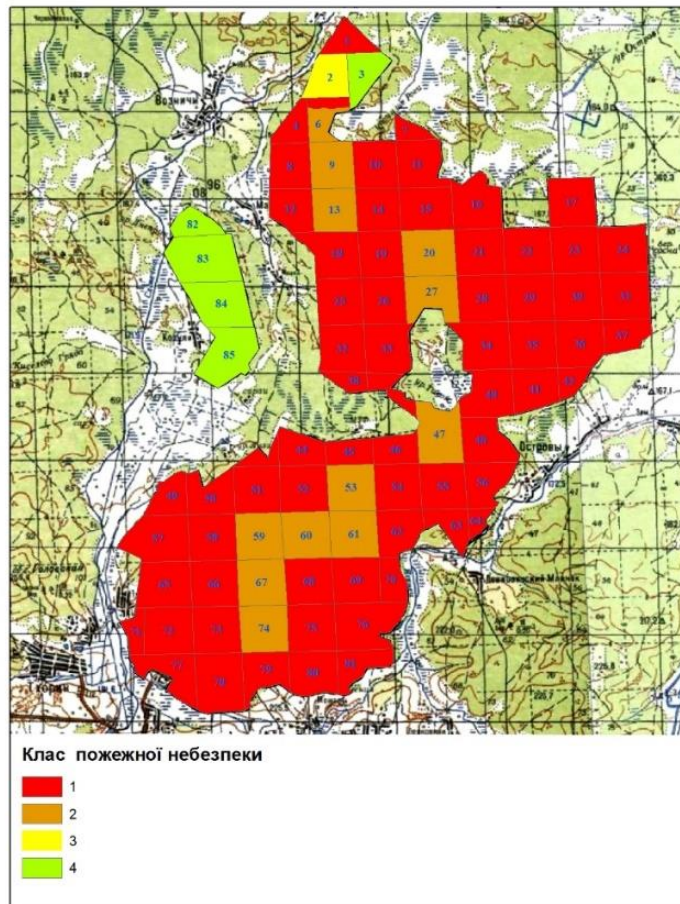


Рис. 4.42 . Класи пожежної небезпеки в Можарівському лісництві

Для кожного кварталу досліджуваного лісництва знайдено ймовірність настання пожежі за умови, що вже в цьому кварталі визначений клас пожежної небезпеки. Результати досліджень зображені на рис. 4.43-4.46.

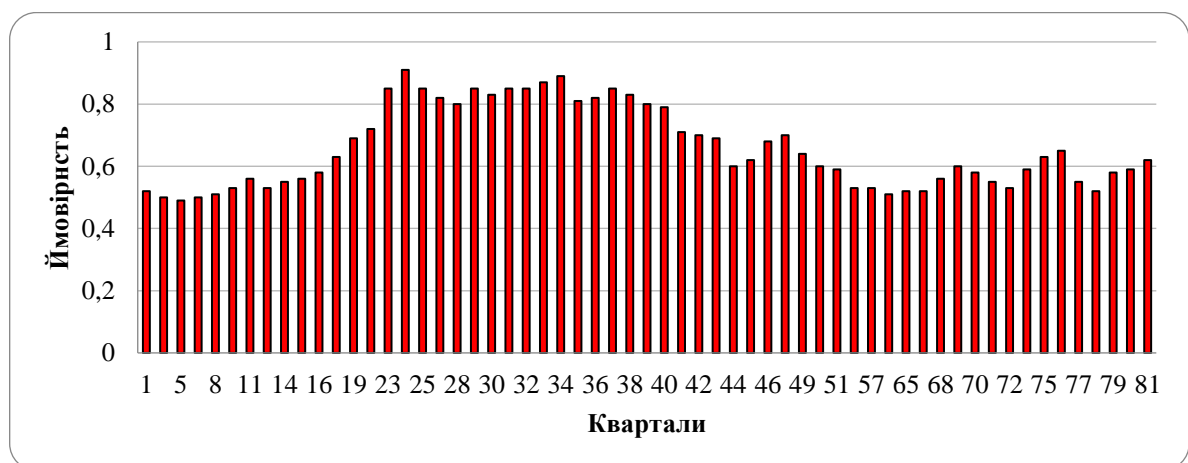


Рис. 4.43 . Ймовірність виникнення пожежі в кварталах I класу пожежної небезпеки



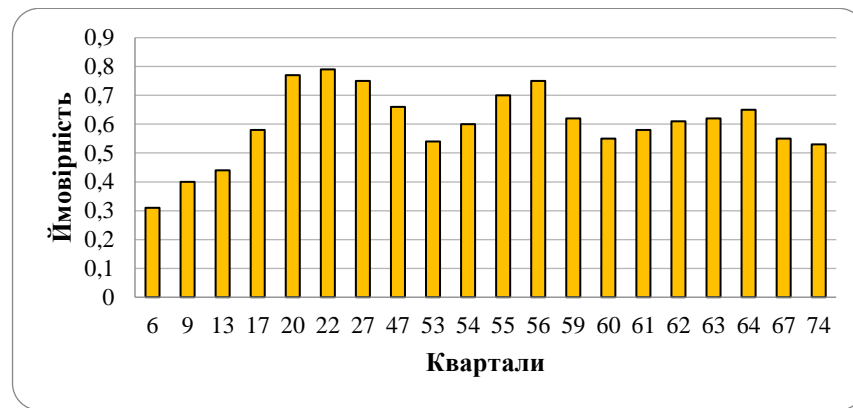


Рис. 4.44. Ймовірність виникнення пожежі в кварталах II класу пожежної небезпеки

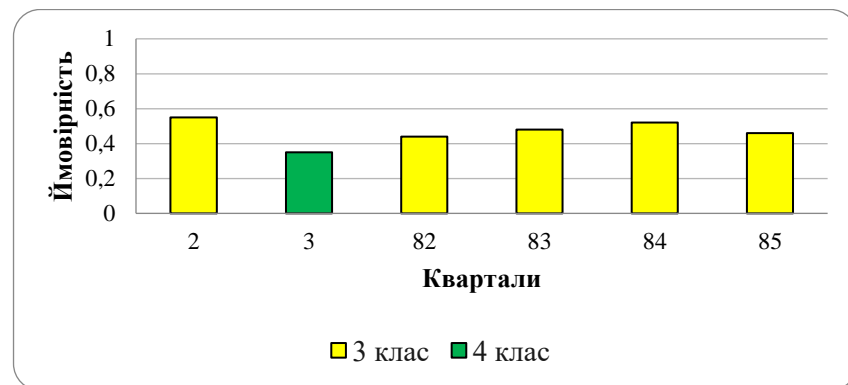


Рис. 4.45. Ймовірність виникнення пожежі в кварталах III та IV класів

За результатами моделювання класів пожежної небезпеки по кожному кварталу можна зробити висновок, що ймовірність виникнення пожеж на території досліджуваного лісництва дуже висока, не менше 50%.

Зазначена математична модель є основою для розробки програмного забезпечення прогнозування виникнення лісових пожеж та підвищує точність оцінювання зазначених апостеріорних імовірностей в середньому на 12-18 %.

#### 4.4. Оцінка ефективності обробки геоданих для мінімізації ризиків виникнення лісових пожеж.

Програмна система складається з декількох модулів, які відповідають за:

- роботу зі спутниковими даними;

- роботу зі статистичними даними;
- аналізу характеристик лісових насаджень;
- оцінки пожежебезпеки територій.

Для кожного з цих модулів створено свої набори даних, які зберігаються у вигляді реляційної бази даних (рис. 4.46).

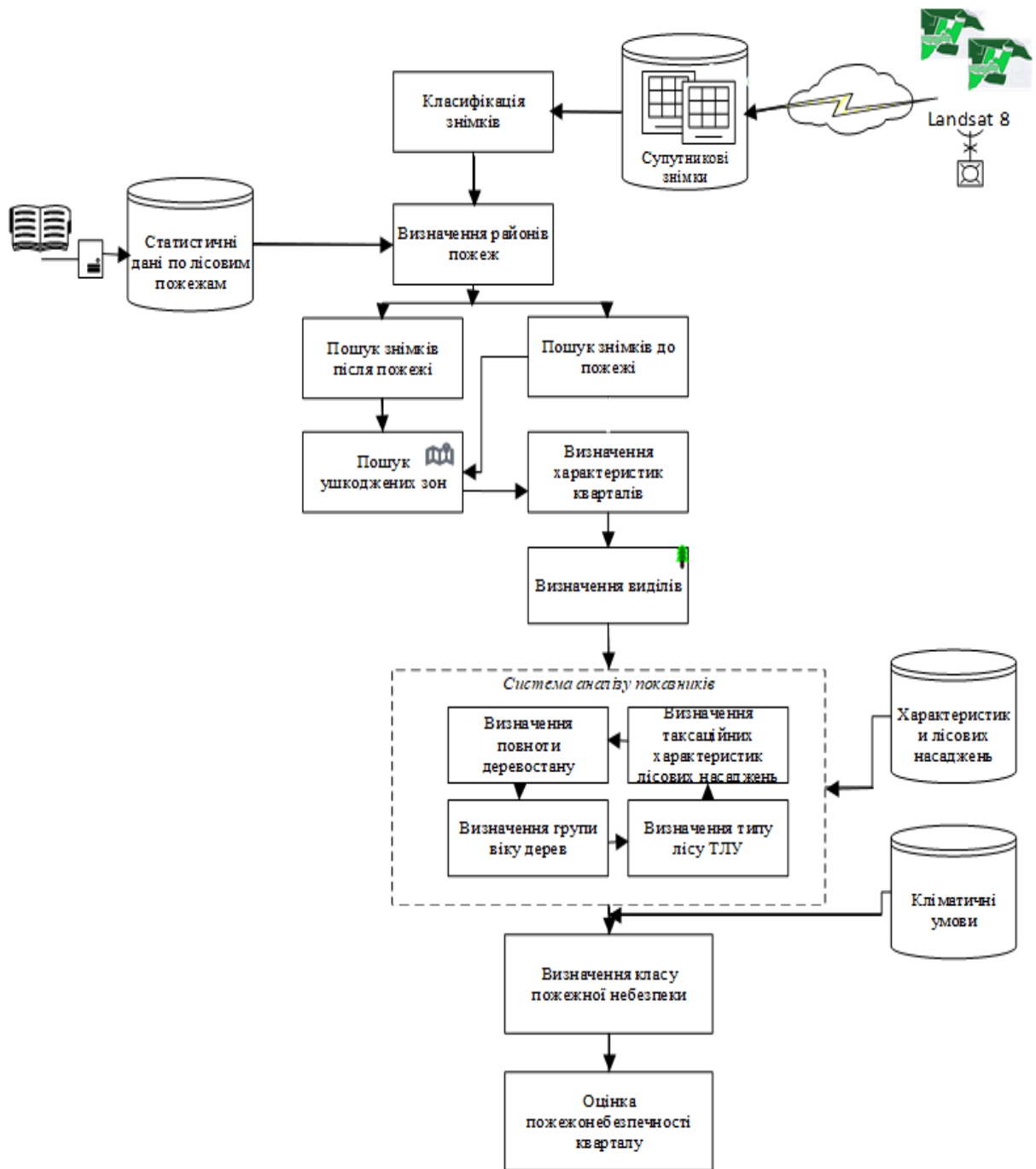


Рис. 4.46. Функціональна модель оцінки антропогенного впливу на довкілля

Оцінювалось два показника ефективності обробки супутникових знімків:

- вимірювався час обробки супутникових знімків для визначення породного складу лісових насаджень та територій, уражених лісовими пожежами;
- оцінювалась достовірність отриманих даних після обробки знімків.

На відміну від традиційних методів визначення породного складу та оцінки територій, уражених пожежею, запропоновані методи дозволяють підвищити оперативність вирішення завдань у 25-30 разів (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Час оцінки уражених пожежею територій за допомогою супутникових знімків

№ п/п	Методи	Оперативність
1.	Традиційні методи	1 доба
2.	Запропоновані методи	15 хв

Встановлено, що 70 % лісів є сосновими. Також в лісах зустрічаються осикові, грабові, березові, вільхові та ясеневі породи дерев. Проведено порівняльний аналіз достовірності класифікації породного складу згідно статистичних даних лісництва та створеної геоінформаційної бази даних лісових угідь (рис. 4.47).

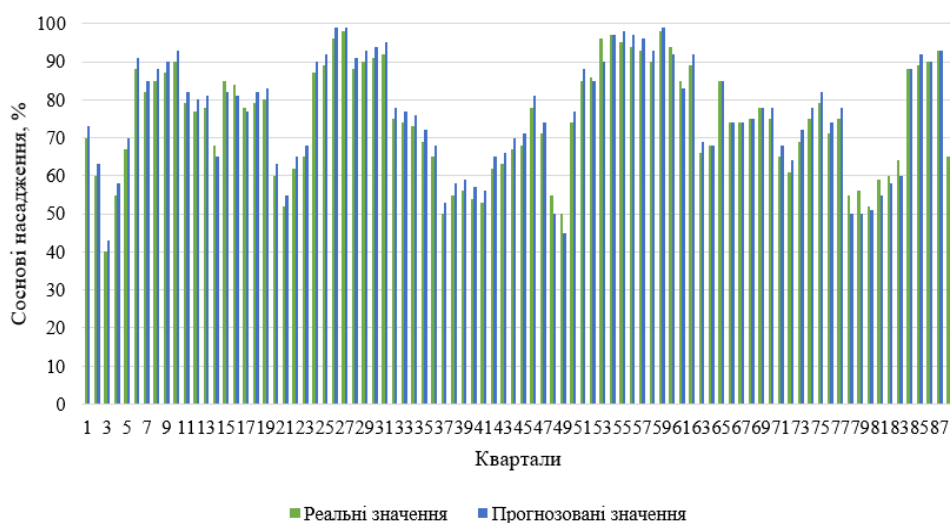


Рис. 4.47. Результати виявлення соснових насаджень в кварталах  
Можарівського лісництва

За результатами аналізу можна зробити висновок про те, що досягнуто підвищення точності виявлення породи дерев із середньою похибкою 3,6 % та максимальною похибкою в 7,5 %. Це допоможе працівникам лісового господарства частіше проводити облік лісових насаджень та отримувати об'єктивну й своєчасну інформацію для вирішення широкого класу прикладних завдань лісового господарства, включаючи прогнозування виникнення пожеж та створення імітаційної моделі розвитку лісової пожежі.

Розраховані площі уражених територій лісовою пожежею в Можарівському лісництві, отримані інформаційною системою, майже не відрізняються від з офіційних даними (рис. 4.48). Досягнуто підвищення точності із середньою похибкою 2,3 % та максимальною похибкою в 5%.

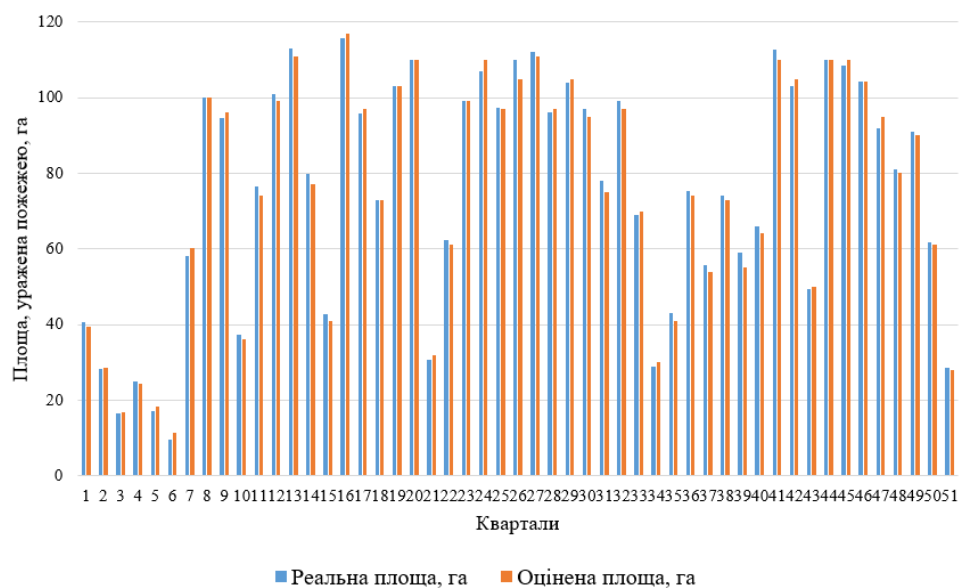


Рис. 4.48. Результати виявлення соснових насаджень в кварталах  
Можарівського лісництва

Реалізація зазначеної методики дозволяє підвищити точність оцінювання породного складу та площ уражених ділянок лісових угідь в середньому на 8-12 %. Тому дані, які отримуються інформаційною системою, є точними та можуть бути використані при оцінці наслідків лісових пожеж.

Отже, за результатами моделювання на основі використання статистичної моделі Байєса досягнуто підвищення точності прогнозування виникнення лісових пожеж, що забезпечує надійність вирішення надзвичайних ситуацій та дозволяє говорити про підвищення достовірності прийняття управлінських рішень на 15 % за рахунок використання створеного програмного комплексу в процесі виникнення катастрофічних ситуацій, спричинених лісовими пожежами.

#### **Висновки до розділу 4**

У розділі висвітлено результати розробки, моделювання та впровадження системи прогнозування виникнення лісових пожеж. Описано спроектовані та реалізовані програмні модулі, які містять набір методів та алгоритмів для дослідження та прогнозування виникнення лісових пожеж. Наведено опис основних можливостей обчислення параметрів та функцій моделі. З метою перевірки вірності застосованих математичних моделей, точності отриманих результатів та загальної ефективності проведено перевірку на достовірність та оперативність. Вперше розроблено математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж, яка базується на аналізі довгострокового періоду кліматичних статистичних даних, за допомогою Data Science. Модель дозволяє проводити дослідження впливу глобальних змін температури на виникнення лісових пожеж.

Запропонована статистична модель Байєса та дешифрування космічних знімків дозволили підвищити достовірність запропонованих альтернативних рішень при прогнозуванні ризиків виникнення лісових пожеж. Це дозволяє підвищити ефективність роботи компетентних органів, які спеціалізуються на нейтралізації наслідків пожеж та дозволяє зберегти цінний лісовий фонд.

## ВИСНОВКИ

У результаті дисертаційного дослідження вирішено актуальне наукове завдання *розробки науково-методичного апарату прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса в інтеграції з геододатками для підтримки управлінських рішень*. Дане наукове завдання має суттєве значення для теоретичних основ та програмно-алгоритмічного забезпечення в створенні та проведенні моніторингу лісових насаджень. Відсутність аналогічних рішень у нашій країні та за кордоном робить результати досліджень пріоритетними.

В дисертації одержані такі основні результати:

1. Вперше розроблено архітектуру програмного забезпечення системи прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка відрізняється від існуючих використанням математичної моделі оцінки впливу температури навколишнього середовища на імовірність виникнення лісових пожеж, методу дешифрування супутникових знімків та математичної моделі прогнозування виникнення лісових пожеж. Використання зазначеного програмного забезпечення дозволяє розробити інформаційну систему прогнозування лісових пожеж.

2. Вперше розроблено математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на ймовірність виникнення лісових пожеж, яка базується на аналізі довгострокового періоду кліматичних статистичних даних за допомогою Data Science. Модель дозволяє проводити дослідження впливу глобальних змін температури на виникнення лісових пожеж.

3. Удосконалено метод дешифрування супутникових знімків для ідентифікації пожежонебезпечних місць та визначення територій, уражених пожежами, яка заснована на спектральному аналізі температур яскравості. Зазначений метод при дешифруванні дозволяє виключити із знімків фрагменти, які покриті хмарами та зайняті водними об'єктами для встановлення просторово-часових характеристик пожеж. Реалізація даного

методу також дозволить встановити території, уражені пожежами та визначити їх клас пожежної небезпеки.

4. Вперше розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка заснована на оцінюванні апостеріорних імовірностей таксаційних характеристик лісових виділів. Зазначена математична модель є основою для розробки програмного забезпечення прогнозування виникнення лісових пожеж та підвищує точність оцінювання зазначених апостеріорних імовірностей в середньому на 12-18 %.

5. Удосконалено методику оцінки наслідків пожеж за даними дистанційного зондування Землі, яка на відміну від існуючих адаптована на обробку знімків низької роздільної здатності та базується на встановленні пожежного індексу. Реалізація зазначеної методики дозволить підвищити точність оцінювання породного складу та площ уражених ділянок лісових угідь в середньому на 8-12 %, а також підвищити оперативність вирішення завдань у порівнянні з традиційними методиками у 25-30 разів.

6. Запропонована статистична модель Байєса та дешифрування космічних знімків дозволили підвищити достовірність запропонованих альтернативних рішень при прогнозуванні ризиків виникнення лісових пожеж. Це надає можливість підвищити ефективність роботи компетентних органів, які спеціалізуються на нейтралізації наслідків пожеж та дозволяє зберегти цінний лісовий фонд.

7. За результатами моделювання на основі використання статистичної моделі Байєса досягнуто підвищення точності прогнозування виникнення лісових пожеж та дозволяє говорити про підвищення оперативності й достовірності прийняття управлінських рішень за рахунок використання створеного програмного комплексу в процесі виникнення катастрофічних ситуацій, спричинених лісовими пожежами.

8. Результати досліджень прийняті до впровадження в Державному підприємстві «Словечанський лісгосп» (акт від 11.08.2022 р.); в UAB «Zaliosios mediena» (акт від 12.01.2022 р.); в навчальному процесі Національного

технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (акт реалізації від 11.07.2022 р.) при викладанні дисципліни «Геоінформаційні системи».

9. Мета досліджень щодо підвищення ефективності обробки геоданих для мінімізації ризиків виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса для підтримки управлінських рішень досягнута та всі часткові завдання вирішені повністю. Наукові результати досліджень є внеском у розвиток теоретичних і прикладних основ розроблення та дослідження моделей і методів прогнозування виникнення лісових пожеж, що стосується розробки моделей та методів аналізу геоданих для рішення задачі антропогенного впливу на довкілля.

10. Перспективними шляхами подальших досліджень у зазначеному напрямку може бути широке коло питань щодо розробки нових та удосконалення існуючих методик для мінімізації ризиків виникнення лісових пожеж на основі використання систем підтримки прийняття рішень.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Svynchuk O., Bandurka O., Barabash O., Ilin O., Lapin A. Development of the information system for monitoring time changes in forest plantations based on the analysis of space images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5, No. 2 (119). P. 31–41.
2. Барабаш О.В., Бандурка О.І. Моделювання лісових пожеж на основі прогностичної моделі Байєса та геоінформаційних технологій. *Сучасні інформаційні системи*. 2022. Т. 6, № 1. С. 19–28.
3. Барабаш О.В., Бандурка О.І., Шпурик В.В., Свинчук О.В. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, №4. С.17–25.
4. Bandurka O. I., Datsiuk O. A., Svynchuk O. V., Shvaiko V. G. Monitoring of forest conditions during fire danger. *Зв'язок*. 2021. № 6 (154). С. 51–63.
5. Barabash O., Bandurka O., Svynchuk O., Tverdenko H. Method of Identification of Tree Species Composition of Forests on the Basis of Geographic Information Database. *Advanced Information Systems*. 2022. Vol. 6. No. 4. P. 5 – 10.
6. Тиховський Р.В., Бандурка О.І., Свинчук О.В. Система моніторингу вирубки лісових масивів України, що постраждали від пожеж. *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій: матеріали XXII Всеукр. наук.-тех. конференції молодих вчених, аспірантів та студентів: матеріали XXII Всеукр. наук.-тех. конференції молодих вчен., аспірантів та студентів, 21-22 квітня 2022 р. Одеса: ОНТУ, 2022. С.164–166.*
7. Svynchuk O., Bandurka O., Shvaiko V. Forest monitoring information system during fire hazardous period. *Modern systems of science and education in the USA, EU and other countries Sworld: Conference proceedings «Sworld-US conference proceedings»*, on January 31, 2022. No.9. P. 16–19.

8. Барабаш О.В., Шпурик В.В., Бандурка О.І. Інтеграція методів штучного інтелекту та аналітики даних для оцінки впливу на довкілля. *Topical issues of modern science. Society and education proceeding*: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф., 28-30 листопада 2021 р., Харків, 2021. С. 401–404.

9. Богач А.Г., Свинчук О.В., Бандурка О.І. Фрактальний аналіз часових змін лісових насаджень. *Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційні і комп'ютерні системи (MEICS 2021)*: зб. праць VI Всеукр. наук.-практ. конф., 24-26 листопада 2021 р. Дніпро: Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, 2021. С.17.

10. Барабаш О.В., Бандурка О.І. Імовірнісна оцінка впливу на довкілля за допомоги експертних систем. *Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє*: зб. тез доповідей XVII Міжнар. наук.-практ. конф., 26 листопада 2021 р. Том 1. Київ: ВІКНУ, 2021. С. 21–22.

11. Бандурка О.І., Барабаш О.В. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. *Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф.: 27 травня 2021 р. Черкаси. С.51–53.

12. Барабаш О.В., Шпурик В.В., Бандурка О.І. ГІС як інструмент дослідження антропогенного впливу на навколишнє середовище. *Integrated Intellectual Robototechnical Complexes (IIRTC-2021)*: матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф., 18 травня 2021 р. Київ. С.177–179.

13. Бандурка О.І., Чорний О.О. Методи оцінки спалених пожежами територій за космічними знімками. *Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики*: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф., 20 квітня 2021 р. Київ: Політехніка, 2021. С. 272–273.

14. Бандурка О.І. Інформаційна система визначення уражених пожежами територій методом Байеса за допомогою ДЗЗ. *Multimodal data processing based on algebraic system of aggregates relations. Integration of Education, Science and Business in Modern Environment*: II International Scientific and Practical Internet Conference: Winter Debates, 4-5 February 2021. Ukraine, 2021. P. 181–183.

15. Бандурка О.І., Богач А.Г. Розробка прикладного програмного забезпечення для аналізу часових змін лісових насаджень методом Байєса. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: матеріали XVIII Міжнар. наук.-практ. конф., 21-24 квітня 2020 р. Київ: Політехніка, 2020. С. 152.

16. Бандурка О.І., Свинчук О.В. Метод ідентифікації космічних знімків для прогнозування лісових пожеж. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2022. № 1(67). С.13–18.

17. Шпурик В.В., Бандурка О.І. Інформаційна система аналізу антропогенного впливу на стан лісових насаджень. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2021. № 3(72). С. 25–37.

18. Крицук С. Г. Картирование бореальных лесов по спутниковым данным. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9, № 4. С. 255–264.

19. Курбатский Н.П. Возникновение лесных пожаров. Наука. Москва. 1964. 172 с.

20. Коровин Г.Н., Покривайло В.П. Методика расчёта некоторых параметров низовых лесных пожаров: сборник научно-исследовательских работ по лесному хозяйству. М.: Лесная промышленность, 1969. С. 330–345

21. Коморовский В.С., Г.А. Доррер Г.А. Методика расчёта параметров лесных пожаров как динамических процессов на поверхности Земли с использованием данных космического мониторинга. *Вестник: Математика, механика, информатика*. 2010. С. 47–50

22. Barovik D.V., Taranchuk V.B. Mathematical modelling of running grown forest fires. *Mathematical modelling and analysis*. 2010. № 2. P.161–164

23. Finney M.A. Farsite: Fire Area Simulator – model development and evaluation. USDA Forest Service. Res. Pap. RMRS-RP-4. 2004. 47 p.

24. Миронюк В.В. Застосування стратифікованої вибірки для регіональної оцінки площі лісів України за даними глобальних карт лісового покриття. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 1. С. 69–74.
25. Залесов А.Г. Классификация лесных пожаров: метод. указания по курсу «Лесная пирология». Екатеринбург, 2011. 94 с.
26. Леонтьев А.К., Моршин В.Н., Родионов С.С. Метод расчета условий воспламенения полога древостоя низовым лесным пожаром. *Лесные пожары и борьба с ними*. 1987. М.: ВНИИЛМЛХ. С. 42–50.
27. Van Wagner C.E. Condition for the start and spread of crown fire. *Canadian J. For. Res.* 1977. Vol. 7. P. 23–34.
28. Ralph M. Nelson. The National Fire Danger Rating System: Derivation of Spread Index for Eastern and Southern States. Res. Pap. SE-13. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 1964. 44 p.
29. Муравський Л.І. Використання геоінформаційних технологій для моніторингу локальних екосистем України. *Відбір і обробка інформації*. 2006. № 24. С. 19–30.
30. Васильев А.С., Краснящих А.В., Коротаев В.В. Разработка программно-аппаратного комплекса обнаружения лесных пожаров методом совмещения изображений. *Приборостроение*. 2012. Т.55, № 12. С. 50–55.
31. Худов В.Г., Кучук Г.А., Маковейчук О.М., Крижний А.В. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 9. С. 77–80.
32. Kuchuk N., Kovalenko A., Tkachov V., Kuchuk H. Predicting traffic anomalies in container virtualization. *Computer and Information System and Technologies*. 2021. P. 25–26.
33. Bartalev S., Isaev A. Monitoring Northern Eurasian Terrestrial Ecosystems from Satellites: New Products and Perspective Approaches. *31st ISRSE Conference on Global Monitoring for Sustainability and Security*. St Petersburg, 2012. P. 33.

34. Триснюк В.М., Охарев В.О., Триснюк Т.В. Створення системи мобільного екологічного моніторингу. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2018. № 2. С. 116–123.
35. IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC special report on land use, land use change and forestry. Cambridge University Press, 2012.
36. Поморцева О.Є. Моделювання розташування екологічно небезпечних об'єктів за допомогою геоінформаційних систем. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2018. Т. 29(68), № 6, Ч.2. С. 222–226.
37. Костюченко Ю.В., Мовчан Д.М., Костюченко Ю.В., Артеменко І.Г., Білоус Ю.Г. Оцінка невизначеностей при визначенні продуктивності рослинного покриву та формуванні вуглецевого балансу територій за даними ДЗЗ. *Геоінформатика*. 2013. № 3 (47). С. 67–75.
38. Бурштинська Х., Долинська І. Врахування впливу атмосфери під час опрацювання космічних зображень. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2012. Вип. 76. С. 70–73.
39. Кохан С.С. Дослідження динаміки вегетаційних індексів для оцінювання стану сільськогосподарських культур на основі даних IRS-1D LISS-III. *Вісник геодезії та картографії*. 2011. № 4(73). С. 20–24.
40. Кохан С.С. Застосування вегетаційних індексів на основі серії космічних знімків IRS-1D LISS-III для визначення стану посівів с/г культур. *Космічна наука і технологія*. 2011. Т. 17, № 5. С. 58.
41. Grégoire J-M., Pinnock S. The World Fire Web network. *A satellite based system for globally mapping fires in vegetation: publication of the European Communities, S.P.I.00.11*. 2010. P. 6.
42. Jones P.D., Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate* 16. 2003. P. 206–223.
43. Donald C. Ahrens and Others. *Meteorology Today*. Cengage Learning, 2016. 662 p.
44. Radakovich J.D. Results from global land-surface data assimilation

methods. *American Meteorological Society*, 2001. P. 132–134.

45. Грабарник П.Я., Чертов О.Г., Чумаченко С.И. Интеграция имитационных моделей для комплексной оценки экосистемных услуг лесов: методические подходы. *Математическая биология и биоинформатика*. 2019. Т. 14. С. 488-499

46. Chertov O. Komarov A., Shaw C., Bykhovets S., Frolov P., Shanin V., Grabarnik P., Priputina I., Zubkova E., Shashkov M. Romul Hum A model of soil organic matter formation coupling with soil biota activity. *II. Parameterisation of the soil food web biota activity. Ecological Modelling*. 2017. V. 345. P. 125–139.

47. Shaw C., Shashkov M., Komarov A., Bykhovets S., Shanin V., Grabarnik P., Frolov P., Kalinina O., Priputina I., Zubkova E. Romul\_Hum model of soil organic matter formation coupled with soil biota activity. *III. Parameterisation of earthworm activity. Ecological Modelling*. 2017. V. 345. P. 140–149.

48. Chris R. de Freitas, John D. McLean Update of the Chronology of Natural Signals in the Near-Surface Mean Global Temperature Record and the Southern Oscillation Index. *International Journal of Geosciences*. 2013. Vol.4 No.1A. P. 120–129.

49. Muravskiy L.I. The use of geoinformation technologies for monitoring local ecosystems of Ukraine. *Selection and processing of information*. 2006. No. 24. P. 19–30

50. Hryhorenko I., Kondrashov S., Hryhorenko S. Development and research of the parameters control system of the artificial ecosystem environment by the fuzzy-logic system. *Advanced Information Systems*. 2021. No. 5(4). P. 49-54.

51. Pashchenko R., Mariushko M. Evaluation of the speed of the plant photosynthesis process with a fuzzy description of impact factors and indicators. *Advanced Information Systems*. 2021. No. 5(3). P.31–39.

52. Дорпер Г.А. Теория распространения пожара как волнового процесса. Красноярск, 1989. 45 с.

53. Weber R. O. Modelling fire spread through fuel beds. *Progress in Energy and Combustion Science*. 1991. P. 67–82.
54. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров. *Лесные пожары и борьба с ними*. 1987. М.: ВНИИЛМЛХ. С. 65–78.
55. Воробьев О.Ю., Доррер Г.А. Вероятностная модель распространения лесного пожара. *Вопросы лесной пирологии*. Красноярск: Институт леса и древесины, 1974. С.118–133.
56. Воробьев О.Ю., Валендик Э.Н. Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров. Новосибирск.: Наука, 1978. 159 с.
57. Доррер Г.А. Оценка статистических характеристик контуров лесных пожаров. *ФГВ*. 1978. № 2. С. 71–76.
58. Ромін А.В. Теоретичні аспекти гасіння лісових пожеж на основі передбачення форми кромки вигоряння. *Прикладная геометрия и инженерная графика: Сб. тр.* 1999. Вып. 4., Т.1. Мелитополь: ТГАТА.С. 108–111.
59. Куценко Л.М., Васильев С.В. Моделювання зовнішніх проявів надзвичайних ситуацій, як двофазних гетерогенних процесів. *Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр.* 2008. Вип. 8. С.115–124.
60. Куценко Л.М., Ромін А.В. Сегментація контура напівтонового зображення. *Проблеми пожежної безпеки: зб. наук. пр. АПБ України*. 2001. Вип. 9. С. 111–115.
61. Комяк В.А., Коссе А.Г., Откидач Н.Я., Шило С.А. Моделирование динамики развития лесного пожара с учетом ветрового воздействия. *Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. Вып.5*. Харьков: ХИПБ, 1999. С. 115–123.
62. Комяк В.А., Откидач Н.Я., Шило С.А. Геометрическое моделирование в прогнозах динамики развития лесного пожара. *Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. Вып.5*. Харьков: ХИПБ, 1999. С. 124–127.

63. Быков В.М., Откидач Н.Я. Прогноз динамики выгорания неоднородного слоя. *Пожарная безопасность*: сб. науч. тр. Черкаси: ЧИПБ, 1999. С. 185–187.

64. Сивальнев А.Н., Васильев А.Б. Основы оперативного прогнозирования контура выгорания лесного участка. *Проблемы пожарной безопасности*: сб. науч. тр. Вып. 2. Харьков: ХИПБ, 1997. С. 145–148.

65. Курбатский Н.П., Доррер Г.А, Дорогов Б.И. Расчет распределения источников пожаров в лесу. *Лесное хозяйство*. 1978. № 7. С. 76–78.

66. Pastor E et al Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behavior. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2003. Vol. 29. P. 139–153.

67. McArthur A.G. Fire behaviour in eucalypt forests. *Commonwealth of Australia: Forestry Research Institute, Leaflet*. 1967. No. 107. 36 p.

68. Forestry Canada Fire Danger Group. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Information Report ST-X-3. Ottawa: Canadian Department of Forestry, 1992. 63 p.

69. Hargrove W.W. et al. Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes. *Ecological Modelling*. 2000. Vol. 135, № 2/3. P. 243–263.

70. Rothermel R.C. A Mathematical model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. USDA Forest Service. Res. Pap. INT-115, 1972. 43 p.

71. Frandsen W.H. Fire spread through porous fuels from the conservation of energy. *Combustion and Flame*. 1972. Vol. 19, № 1. P. 17–24.

72. Griffiths P. et al. Forest disturbances, forest recovery, and changes in forest types across the Carpathian ecoregion from 1985 to 2010 based on Landsat image composites. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 151. P. 72–88.

73. Егармин П.А. Расчёт распределения источников пожаров в лесу в общей задаче определения пожарной опасности охраняемой территории. *ЛфСибГТУ*. 2010. С.79–84.



74. Антонов С.Ю. Описание прогнозно-расчётных задач по определению параметров лесных пожаров. *Сибирский экологический журнал*. 2016. Т.3, № 2. С. 98–104.

75. William S. Cleveland. Data Science: An Action Plan for Expanding the Technical Areas of the Field of Statistics. *International Statistical Review*. 2001. Vol. 69. P. 21–26.

76. Журавлёва Е.Ю. Эпистемический статус цифровых данных в современных научных исследованиях. *Вопросы философии*. 2012. № 2. С. 113–123.

77. Lukides M. What is data science? The future belongs to the companies and people that turn data into products. *Radar*. 2013. P. 80–96.

78. Smith F. Jack Data Science as An Academic Discipline. *Data Science Journal CODADA*. 2006. P. 148–164.

79. Steven S. Skiena The Data Science. Design Manual. Springer: Verlag. 2020. 544 p.

80. Руденко В.М. Математична статистика. Київ: Центр навчальної літератури. 2019. 304 с.

81. Лавриненко С.Н., Запорожченко Е.Е., Сазонова М.С. Экспертно-вероятностное прогнозирование качественных показателей процесса производства биоинженерных регистраторов излучений. *Системы и процессы управления. Технологический аудит и резервы производства*. № 1/3 (21). 2015. С.32–36.

82. Науменко А.П.. Теория и методы мониторинга и диагностики. Омск. 2017. 140 с.

83. Пустынникова И.Н. Технология использования экспертных систем для диагностики знаний и умений. *Educational Technology and Society*. 2001. No. 4 (41). С.77–105.

84. Барабаш О.В., Обідін Д.М., Мусієнко А.П. Математична модель інтелектуалізації процесів управління рухомим об'єктом на основі нечітких

семантичних. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку: науково-виробничий збірник*. 2014. № 3(31). К.: УНДІЗ. С. 5–9.

85. Барабаш О.В., Д.М. Обідін, Хращевський Р.В. Нечіткі моделі опису ситуацій в системах автоматичного управління літальним апаратом. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2012. № 38. С. 6–13.

86. Барабаш О.В. Оцінювання показника функціональної стійкості графа структури розгалуженої інформаційної мережі. *Зв'язок*. 2015. № 2 (114). С. 9–12.

87. Барабаш О.В. Побудова структури мережі передачі даних за критерієм максимуму функціональної стійкості. *Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць*. 2003. Вип. 8. С. 66–71.

88. Абрамов Н.С., Макаров Д.А., Талалаев А.А., Фраленко В.П. Современные методы интеллектуальной обработки данных ДЗЗ. *Програмные системы: теория и приложения*. 2018. Т. 9, № 4(39). С. 417-442.

89. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М. : Техносфера, 2008. 312 с.

90. Науменко А.П. Теория и методы мониторинга и диагностики. ОмГТУ, 2017. 154 с.

91. Зібцев С.В. Аналіз особливостей лісопожежної обстановки та стану протипожежної охорони лісу в зонах радіаційного забруднення. *Наукові доповіді НАУ*. 2006. Вип. 4 (5). С. 17.

92. Шмиг Р.А., Боярчук В.М., Добрянський І.М., Барабаш В.М.. Таксація лісів. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури. Львів, 2010. 185 с.

93. Журавлёва И. Мониторинг пожаров на природных территориях с помощью сервиса FIRMS. URL: <http://gis-lab.info/qa/firms.html>. (режим доступа 29.08.2022)

94. Кашкин В. Б., Сухинин А. И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: уч. пос. М.: Логос, 2001. 264 с.

95. Стругайло В.В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений. *Наука и образование*. 2012. № 5. С. 79–86.
96. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с
97. Яне Б. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007. 584с.
98. Бенкен Е.С. ЧАСТЬ II. PHP и MySQL. XML. *Программирование для Интернета*. 2011. № (3). С. 127–168.
99. Геннік Дж. SQL. Карманный справочник. М.: Рид Групп, 2012. 256с.
100. Дронов В. А. Python 3. Самое необходимое. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2016. 608 с.
101. Дронов В.А. Python 3 и PyQt 5. Разработка приложений. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург. 2016. 832 с.
102. Вестра Э. Разработка геоприложений на языке Python . 2016. – 446 с.
103. Shedlovska Y.I., Hnatushenko V. V. Shadow Detection and Removal from Urban High Resolution Remote Sensing Images. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2016. № 854. С. 42–49.
104. Гнатушенко В.В., Шедловська Я.І. Розрахунок властивостей зображення для порівняння супутникових знімків високої просторової роздільної здатності. *Сучасні проблеми моделювання*. 2017. Вип. 10. С. 51–58.
105. Chang N.-B., Bai K. Multisensor Data Fusion and Machine Learning for Environmental Remote Sensing. Boca Raton, Taylor & Francis Group, LLC CRC Press. 2018. 528 p.
106. Jabari S., Zhang Y. Very High Resolution Satellite Image Classification Using Fuzzy Rule-Based Systems. *Algorithms*. 2013. No. 6. P. 762–776.
107. Лакида П.І. Аналіз та інтерпретація карти високого просторового розрізнення лісових екосистем Полісся України. *Збалансоване природокористування*. 2014. № 4. С. 5–9.
108. Муравський Л.І.. Використання геоінформаційних технологій для моніторингу локальних екосистем України. *Відбір і обробка інформації*. 2006. № 24. С. 19–30.

109. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
110. Попов М.О. Оцінювання характеристик зелених насаджень з використанням засобів дистанційного зондування Землі. *Екологічна безпека та природокористування*. 2013. Вип. 12. С. 51–62.
111. Кохан С.С. Сучасні підходи до класифікації космічних знімків. *Географічні інформаційні системи в аграрних університетах (GISAU)*: матеріали II Міжнар. наук.-метод. конф., 21-22 травня 2007 р. Херсон: Айлант, 2007. С. 202–203.
112. Кузнецов М.П., Симдянов И.И. Самоучитель MySQL. БХВ-Петербург, 2007. 432 с.
113. Ульман Л. MySQL. Питер: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2004. 345 с.
114. Ceder N. The Quick Python Book. Manning; 3rd edition. 2018. 472 p.
115. Мусин Д. Самоучитель Python. БХВ-Петербург, 2016. 364 с.
116. Nigel G. Build a Website with Django 3. Australia: GNW Independent Publishing, 2019. 254 с.
117. Boehm A. Murach's HTML5 and CSS3. USA, 2015. 736 с.
118. Elliott E. Programming JavaScript Applications: Robust Web Architecture with Node, Html5, And Modern. Js Libraries. 2013. 456 p.
119. Зубков И.А., Скрипачев В.О. Применение алгоритмов неконтролируемой классификации при обработке данных ДЗЗ. *ФГУП*. 2007. С. 221–228.
120. Бунтова О.Г. Оцінка екологічного стану лісових насаджень в зоні відчуження. *Наука. Чорнобиль-97*: зб. тез доп. наук.-практ. конф. 11–12 лютого 1998 р. Київ, 1999. С. 97–98.
121. Свидзинская Д. В., Бруй А. С., Основы QGIS. Киев, 2014. 83 с.
122. Барсегян А.А. Технология анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 384 с.
123. Рашка С. Машинне навчання на Python, перше видання: навчальний посібник. Бірмінгем, 2015. 420 с.

124. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. High-resolution global maps of 21-century forest cover change. *Science*. 2013. Vol. 342. P. 850–853.

125. Бандурка О.І., Швайко В.Г., Чорний О.О. Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 113897 від 22.07.2022 року. Комп'ютерна програма «Інформаційна система реалізації технології визначення спалених пожежами територій за космічними знімками».

126. Бандурка О.І., Швайко В.Г., Онищенко Р.С. Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 113887 від 20.07.2022. Комп'ютерна програма «Інформаційне забезпечення аналізу часових змін лісових масивів»

## ДОДАТОК А



Олександр ПАВЛУШЕНКО  
«17» серпня 2022 року

## АКТ

**про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Бандурки Олени Іванівни**

Комісія в складі: голови комісії головного лісничого ДП «Словечанський лісгосп» Содолінського Т.А., членів комісії: інженера охорони та захисту лісу Свинчука В.М., інженера із застосування комп'ютерів Лутошкіна К.М. склала цей акт про те, що результати, отримані в дисертаційному дослідженні аспірантки Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Бандурки Олени Іванівни, реалізовані при впровадженні моніторингу лісових угідь лісгоспу з використанням даних супутникових спостережень. Тема дисертації «Методи і алгоритми аналізу геоданих для рішення задачі оцінки антропогенного впливу на довкілля».

Перелік реалізації та впровадження результатів дослідження:

Удосконалений метод дешифрування супутникових знімків для визначення територій, уражених пожежами та ідентифікації згарищ. Запропонована математична модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байеса, яка заснована на оцінюванні апостеріорних імовірностей таксаційних характеристик лісових кварталів.

Як показали дослідження, розроблені метод та модель спрямовані на зниження ризиків виникнення катастрофічних лісових пожеж та нормалізації пожежної ситуації на територіях лісництва лісгоспу. Використання супутникових даних моніторингу лісів є економічно вигідним, тому що дозволяє швидко отримувати об'єктивну інформацію, необхідну лісівникам для вирішення практичних задач.

Даний акт не є підставою для фінансових взаєморозрахунків.

Голова комісії

Головний лісничий  
ДП «Словечанський лісгосп»

Тарас СОДОЛИНСЬКИЙ

Члени комісії:

Інженер охорони та захисту лісу


Василь СВИНЧУК

Інженер із застосування комп'ютерів

Костянтин ЛУТОШКІН



Director UAB «Zaliosios mediena»

 Audrius PASLAUSKAS

2022.01.12

**ACT**

**On the implementation of the dissertation results done by  
Bandurka Olena Ivanivna**

The Commission comprising Vilija Paslauskiene, the director of the technical departament of UAB «Zaliosios mediena», members of the commission: forest protection engineer Marius Pranckietis, qualified lumberjack Rytis Zinkevicius made the act on the obtained results in the dissertation research done by Bandurka O.I., a postgraduate of the National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", implemented with the forest land monitoring using satellite observation data. The subject of the dissertation is «The methods and algorithms of geodata analysis for solving the problem of assessing the human impact on the environment».

The list of realization and implementation of the research results:

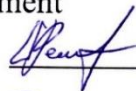
Improved satellite imagery decoding for determination of territory affected by fires, identification of conflagrations. The suggested mathematical model of forest fire forecasting according to the Bayesian statistics based on the assessment of aposterior probability of the inventory characteristics of forestry.

Studies have shown the developed method and model are aimed at reducing the risk of occurrence of catastrophic forest fires and normalization of fire situation in forest management areas. The use of satellite forest monitoring data is economically profitable because it allows to quickly obtain objective information necessary for foresters to solve practical problems.

This act is not the basis for financial settlements.

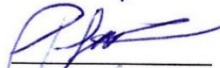
Director of the technical departament

UAB «Zaliosios mediena»



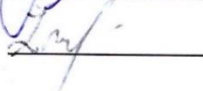
Vilija PASLAUSKIENE

Forest protection engineer



Marius PRANCKIETIS

Qualified lumberjack



Rytis ZINKEVICIUS



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи  
 Національного технічного університету  
 України «Київський політехнічний інститут  
 імені Ігоря Сікорського»  
 **Анатолій МІЛЬНИЧЕНКО**  
 «11» липня 2022 року

АКТ

**про впровадження в навчальний процес Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» наукових положень і результатів дисертаційної роботи Бандурки Олени Іванівни на тему «Методи і алгоритми аналізу геоданих для рішення задачі оцінки антропогенного впливу на довкілля»**

Науково-педагогічна комісія в складі голови – в.о. завідувача кафедри Інженерії програмного забезпечення в енергетиці д.т.н., доцента Ковалю О.В. та членів комісії: к.т.н., доцента кафедри Інженерії програмного забезпечення в енергетиці Варави І.А. та старшого викладача кафедри Інженерії програмного забезпечення в енергетиці Дацюк О.А., склала даний акт про те, що наукові положення та результати дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії аспіранта Бандурки О.І. на тему «Методи і алгоритми аналізу геоданих для рішення задачі оцінки антропогенного впливу на довкілля», а саме удосконалений метод дешифрування супутникових знімків для ідентифікації пожежонебезпечних місць та визначення територій, уражених пожежами, який заснований на спектральному аналізі температур яскравості, та математична модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, введено в навчальний процес кафедри Інженерії програмного забезпечення в енергетиці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» при викладанні дисципліни «Геоінформаційні системи» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» денної форми навчання.

Голова комісії

В.о. завідувача кафедри Інженерії  
 програмного забезпечення в енергетиці  
 доктор технічних наук, доцент



Олександр КОВАЛЬ

Члени комісії:

Кандидат технічних наук, доцент



Іван ВАРАВА

Старший викладач

Оксана ДАЦЮК



## ДОДАТОК Б

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Svynchuk O., Bandurka O., Barabash O., Ilin O., Lapin A. Development of the information system for monitoring time changes in forest plantations based on the analysis of space images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5, No. 2 (119). P. 31–41.

2. Барабаш О.В., Бандурка О.І. Моделювання лісових пожеж на основі прогностичної моделі Байєса та геоінформаційних технологій. *Сучасні інформаційні системи*. 2022. Т. 6, № 1. С. 19–28.

3. Барабаш О.В., Бандурка О.І., Шпурик В.В., Свинчук О.В. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, №4. С.17–25.

4. Bandurka O. I., Datsiuk O. A., Svynchuk O. V., Shvaiko V. G. Monitoring of forest conditions during fire danger. *Зв'язок*. 2021. № 6 (154). С. 51–63.

5. Barabash O., Bandurka O., Svynchuk O., Tverdenko H. Method of Identification of Tree Species Composition of Forests on the Basis of Geographic Information Database. *Advanced Information Systems*. 2022. Vol. 6. No. 4. P. 5 – 10.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

6. Тиховський Р.В., Бандурка О.І., Свинчук О.В. Система моніторингу вирубки лісових масивів України, що постраждали від пожеж. *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій: матеріали XXII Всеукр. наук.-тех. конференції молодих вчених, аспірантів та студентів:*

матеріали XXII Всеукр. наук.-тех. конференції молодих вчен., аспірантів та студентів, 21-22 квітня 2022 р. Одеса: ОНТУ, 2022. С.164–166.

7. Svynchuk O., Bandurka O., Shvaiko V. Forest monitoring information system during fire hazardous period. *Modern systems of science and education in the USA, EU and other countries Sworld: Conference proceedings «Sworld-Us conference proceedings»*, on January 31, 2022. No.9. P. 16–19.

8. Барабаш О.В., Шпурик В.В., Бандурка О.І. Інтеграція методів штучного інтелекту та аналітики даних для оцінки впливу на довкілля. *Topical issues of modern science. Society and education proceeding*: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф., 28-30 листопада 2021 р., Харків, 2021. С. 401–404.

9. Богач А.Г., Свинчук О.В., Бандурка О.І. Фрактальний аналіз часових змін лісових насаджень. *Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційні і комп'ютерні системи (MEICS 2021)*: зб. праць VI Всеукр. наук.-практ. конф., 24-26 листопада 2021 р. Дніпро: Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, 2021. С.17.

10. Барабаш О.В., Бандурка О.І. Імовірнісна оцінка впливу на довкілля за допомоги експертних систем. *Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє*: зб. тез доповідей XVII Міжнар. наук.-практ. конф., 26 листопада 2021 р. Том 1. Київ: ВІКНУ, 2021. С. 21–22.

11. Бандурка О.І., Барабаш О.В. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. *Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф.: 27 травня 2021 р. Черкаси. С.51–53.

12. Барабаш О.В., Шпурик В.В., Бандурка О.І. ГІС як інструмент дослідження антропогенного впливу на навколишнє середовище. *Integrated Intellectual Robototechnical Complexes (IIRTC-2021)*: матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф., 18 травня 2021 р. Київ. С.177–179.

13. Бандурка О.І., Чорний О.О. Методи оцінки спалених пожежами територій за космічними знімками. *Сучасні проблеми наукового забезпечення*

*енергетики*: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф., 20 квітня 2021 р. Київ: Політехніка, 2021. С. 272–273.

14. Бандурка О.І. Інформаційна система визначення уражених пожежами територій методом Байєса за допомогою ДЗЗ. *Multimodal data processing based on algebraic system of aggregates relations. Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: II International Scientific and Practical Internet Conference: Winter Debates, 4-5 February 2021. Ukraine, 2021. P. 181–183.*

15. Бандурка О.І., Богач А.Г. Розробка прикладного програмного забезпечення для аналізу часових змін лісових насаджень методом Байєса. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: матеріали XVIII Міжнар. наук.-практ. конф., 21-24 квітня 2020 р. Київ: Політехніка, 2020. С. 152.

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

16. Бандурка О.І., Свинчук О.В. Метод ідентифікації космічних знімків для прогнозування лісових пожеж. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2022. № 1(67). С.13–18.

17. Шпурик В.В., Бандурка О.І. Інформаційна система аналізу антропогенного впливу на стан лісових насаджень. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2021. № 3(72). С. 25–37.

**Відомості про апробацію результатів дисертації**

1. XXII Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» (21-22 квітня, 2022, м. Одеса).

2. Sworld US Conference proceedings «Modern systems of science and education in the USA, EU and other countries» (on January 31, 2022, USA).
3. V International scientific and practical conference «Topical issues of modern science. Society and education proceeding» (28-30 November, 2021, Kharkiv).
4. VI Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційні і комп'ютерні системи» (MEICS 2021) (24-26 листопада, 2021, м. Дніпро).
5. XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє» ( 26 листопада, 2021, м. Київ).
6. Третя міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси» (27 травня, 2021, м. Черкаси).
7. 14 international science and technical conference «Integrated Intellectual Robototechnical Complexes» (IIRTC-2021) (18 травня, 2021, м. Київ).
8. XIX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (20 квітня, 2021, м. Київ).
9. 2nd International Scientific and Practical Internet Conference «Multimodal data processing based on algebraic system of aggregates relations. Integration of Education, Science and Business in Modern Environment» (4-5 February, 2021, Dnipro, Kyiv).
10. XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (21-24 квітня, 2020, м. Київ).

## ДОДАТОК В

## ЛІСТИНГИ КОДУ ПРОГРАМНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ

Лістинг частини коду визначення впливу температури на виникнення лісових пожеж

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8

# In[4]:

import requests

r = requests.get('https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/readme.txt')
readme = r.text

r = requests.get('https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/ghcnd-
inventory.txt')
inventory_txt = r.text

r = requests.get('https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/ghcnd-
stations.txt')
stations_txt = r.text

with open("inventory.txt", "w") as inventory_file:
    inventory_file.write(inventory_txt)

with open("stations.txt", "w") as stations_file:
    stations_file.write(stations_txt)

print(inventory_txt[:137])

# In[5]:

from collections import namedtuple

Inventory = namedtuple("Inventory", ['station', 'latitude', 'longitude',
'element', 'start', 'end'])

inventory = [Inventory(x[0:11], float(x[12:20]), float(x[21:30]), x[31:35],
int(x[36:40]), int(x[41:45]))
              for x in inventory_txt.split("\n") if x.startswith("UP")]

for line in inventory[:5]:
    print(line)

# In[6]:

inventory_temps = [x for x in inventory if x.element in ['TMIN', 'TMAX']
                    and x.end >= 2015 and x.start < 1920]
inventory_temps[:5]

# In[7]:

# Downtown Kiev, obtained via online map
latitude, longitude = 50.4000, 30.5331

inventory_temps.sort(key=lambda x: abs(latitude-x.latitude) + abs(longitude-
```

```

x.longitude))

inventory_temps[:20]

# In[8]:

station_id = 'UPM00033345'

# parse stations
Station = namedtuple("Station", ['station_id', 'latitude', 'longitude',
    'elevation', 'state', 'name', 'start', 'end'])

stations = [(x[0:11], float(x[12:20]), float(x[21:30]), float(x[31:37]),
    x[38:40].strip(), x[41:71].strip())
    for x in stations_txt.split("\n") if x.startswith(station_id)]

station = Station(*stations[0] + (inventory_temps[0].start,
    inventory_temps[0].end))
print(station)

# In[9]:

# fetch daily records for selected station

r =
requests.get('https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/all/{}.dly'.form
    at(station.station_id))
weather = r.text

# save into a text file, so we won't need to fetch again

with open('weather_{}.txt'.format(station), "w") as weather_file:
    weather_file.write(weather)

# In[10]:

# read from saved daily file if needed (only used if we want to start the
    process over without downloading the file)

with open('weather_{}.txt'.format(station)) as weather_file:
    weather = weather_file.read()

# In[11]:

print(weather[:540])

# In[12]:

def parse_line(line):
    """ parses line of weather data
        removes values of -9999 (missing value)
    """

    # return None if line is empty
    if not line:
        return None

    # split out first 4 fields and string containing temperature values
    record, temperature_string = (line[:11], int(line[11:15]),
    int(line[15:17]), line[17:21]), line[21:]

    # raise exception if the temperature string is too short
    if len(temperature_string) < 248:

```

```

        raise ValueError("String not long enough - {}".format(temperature_string, str(line)))

    # use a list comprehension on the temperature_string to extract and
    convert the
    values = [float(temperature_string[i:i + 5])/10 for i in range(0, 248, 8)
               if not temperature_string[i:i + 5].startswith("-9999")]

    # get the number of values, the max and min, and calculate average
    count = len(values)
    tmax = round(max(values), 1)
    tmin = round(min(values), 1)
    mean = round(sum(values)/count, 1)

    # add the temperature summary values to the record fields extracted
    earlier and return
    return record + (tmax, tmin, mean, count)

# In[13]:

parse_line(weather[:270])

# In[14]:

# process all weather data

# list comprehension, will not parse empty lines
weather_data = [parse_line(x) for x in weather.split("\n") if x]

len(weather_data)

weather_data[:10]

# In[15]:

import sqlite3

conn = sqlite3.connect("weather_data.db")
cursor = conn.cursor()

# In[16]:

# create weather table

create_weather = """CREATE TABLE "weather" (
    "id" text NOT NULL,
    "year" integer NOT NULL,
    "month" integer NOT NULL,
    "element" text NOT NULL,
    "max" real,
    "min" real,
    "mean" real,
    "count" integer)"""
cursor.execute(create_weather)
conn.commit()

# In[17]:

# store parsed weather data in database

for record in weather_data:
    cursor.execute("""insert into weather (id, year, month, element, max,
min, mean, count) values (?,?,?,?,?,?,?) """,

```

```

        record)

conn.commit()

# In[18]:

cursor.execute("""select * from weather where element='TMAX' order by year,
month""")
tmax_data = cursor.fetchall()
tmax_data[:5]

# In[19]:

tmax_data = [x for x in weather_data if x[3] == 'TMAX']
tmin_data = [x for x in weather_data if x[3] == 'TMIN']
tmin_data[:5]

# In[20]:

get_ipython().system(' pip3 install pandas matplotlib')

# In[21]:

import pandas as pd
get_ipython().run_line_magic('matplotlib', 'inline')

# In[22]:

tmax_df = pd.DataFrame(tmax_data, columns=['Station', 'Year', 'Month',
'Element', 'Max', 'Min', 'Mean', 'Days'])
tmin_df = pd.DataFrame(tmin_data, columns=['Station', 'Year', 'Month',
'Element', 'Max', 'Min', 'Mean', 'Days'])

# In[23]:

# select Year, Min, Max, Mean columns, group by year, average and line plot

tmin_df[['Year', 'Min', 'Mean', 'Max']].groupby('Year').mean().plot(
kind='line', figsize=(16, 4))

# In[ ]:

```

### Лістинг частини коду керування геоінформаційною базою даних

Global variables:

```

isXT: XT builder or not. This variable is set by builder node server.
isBuilder: is builder or app. This flag is used to distinguish the build
and app in jimu.js
isRunInPortal: whether the app/builder is in portal or not.
builderNls: the builder nls bundle
portalUrl: the portal url
configWindow: in builder only, the config app window object
previewWindow: in builder only, the preview app window object
setConfigViewerTopic: in builder only, used to communicate between builder
and config window
setPreviewViewerTopic: in builder only, used to communicate between builder
and preview window
appId: in builder only, the current opened app id.

apiUrl: the URL of the ArcGIS API for JavaScript
allCookies: all cookies
path: the builder/app path section in window.location

```



appPath: the app's path. In app, it's the same with path; In builder, it's not.

queryObject: the query parameters

jimuNls: the jimu nls bundle

isRTL: the language is right to left,

wabVersion: the wab version, like 1.1, 1.2

productVersion: the product version, like portal10.3, online3.5, developer edition1.0

dojoConfig: the dojo config object

jimuConfig: defined in jimu/main

weinreUrl: for mobile debug

debug: boolean. If it's debug mode, the app will load weinre file

Global functions:

loadResource: load JS or CSS

loadResources: load array of JS or CSS

testLoad: load JS/CSS by condition

loadingCallback: the resources loaded callback

\*\*\*\*\*/

/\*global testLoad, ActiveXObject \*/

var

// the URL of the ArcGIS API for JavaScript, you can change it to point to your own API.

apiUrl = null,

//weinreUrl: String

// weinre is a tool which can help debug the app on mobile devices.

// Please see:

<http://people.apache.org/~pmuellr/weinre/docs/latest/Home.html>

weinreUrl = '///launch.chn.esri.com:8081/target/target-script-min.js',

//debug: Boolean

// If it's debug mode, the app will load weinre file

debug = false,

//deprecated, use appInfo.appPath instead

path = null,

isXT = false,

allCookies,

verboseLog = true,

//This version number will be appended to URL to avoid cache.

//The reason we do not use wabVersion is to avoid force user to change wabVersion when they are customizing app.

deployVersion = '2.26';

// console.time('before map');

//////Builder server will remove this line's comment, so set isXT flag to true

//isXT = true;

////////////////////////////////////

//////Build scripts will uncomment this line to disable verboseLog.

//verboseLog = false;

////////////////////////////////////

(function(global){

//init API URL

var queryObject = getQueryObject();

```

var apiVersion = '3.42';
/////////uncomment the following line when downloading the app
apiUrl = 'https://js.arcgis.com/3.42';
allCookies = getAllCookies();
if (queryObject.apiUrl) {
    if(!checkApiUrl(queryObject.apiUrl)){
        console.error('?apiurl must point to an ULR that is in the app or in
esri.com/arcgis.com domain.');
```

return;

```

    }
    apiUrl = queryObject.apiUrl;
}
window.appInfo = {isRunInPortal: !isXT};
if (!apiUrl) {
    if (isXT) {
        apiUrl = 'https://js.arcgis.com/' + apiVersion;
    } else {
        var portalUrl = getPortalUrlFromLocation();
        if (portalUrl.indexOf('.arcgis.com') > -1) {
            if(portalUrl.indexOf('devext.arcgis.com') > -1){
                apiUrl = '///jsdev.arcgis.com/' + apiVersion;
            }else if(portalUrl.indexOf('qa.arcgis.com') > -1){
                apiUrl = '///jsqa.arcgis.com/' + apiVersion;
            }else{
                apiUrl = '///js.arcgis.com/' + apiVersion;
            }
            // apiUrl = 'https://js.arcgis.com/' + apiVersion;
        } else {
            apiUrl = portalUrl + 'jsapi/jsapi/';
        }
    }
}
if (apiUrl.substr(apiUrl.length - 1, apiUrl.length) !== '/') {
    apiUrl = apiUrl + '/';
}
path = getPath();
function getAllCookies(){
    var strAllCookie = document.cookie;
    var cookies = {};
    if (strAllCookie) {
        var strCookies = strAllCookie.split(';');
        for(var i = 0; i < strCookies.length; i++){
            var splits = strCookies[i].split('=');
            if(splits && splits.length > 1){
                cookies[splits[0].replace(/^\s+|\s+$/gm, '')] = splits[1];
            }
        }
    }
    return cookies;
}
function checkApiUrl(url){
    if(/^\/\:\/\/.test(url) || /^https?:\/\:\/\/.test(url)){
        return /(?:[\\w\\-\\_]+\\.)(?:esri|arcgis)\\.com/.test(url); //api url must
be in esri.com or arcgis.com
    }else{
        return true;
    }
}
function getPortalUrlFromLocation(){
    var portalUrl = getPortalServerFromLocation() +
getDeployContextFromLocation();
    return portalUrl;
}

```

```

function getPortalServerFromLocation(){
    var server = window.location.protocol + '//' + window.location.host;
    return server;
}
function getDeployContextFromLocation () {
    var keyIndex = window.location.href.indexOf("/home/");
    if(keyIndex < 0){
        keyIndex = window.location.href.indexOf("/apps/");
    }
    var context =
window.location.href.substring(window.location.href.indexOf(
    window.location.host) + window.location.host.length + 1, keyIndex);
    if (context !== "/" ) {
        context = "/" + context + "/";
    }
    return context;
}
function getPath() {
    var fullPath, path;
    fullPath = window.location.pathname;
    if (fullPath === '/' || fullPath.substr(fullPath.length - 1) === '/') {
        path = fullPath;
    }else{
        var sections = fullPath.split('/');
        var lastSection = sections.pop();
        if (/\.html$/.test(lastSection) || /\.aspx$/.test(lastSection) ||
            /\.jsp$/.test(lastSection) || /\.php$/.test(lastSection)) {
            //index.html may be renamed to index.jsp, etc.
            path = sections.join('/') + '/';
        } else {
            return false;
        }
    }
    return path;
}
function getQueryObject(){
    var query = window.location.search;
    if (query.indexOf('?') > -1) {
        query = query.substr(1);
    }
    var pairs = query.split('&');
    var queryObject = {};
    for(var i = 0; i < pairs.length; i++){
        var splits = decodeURIComponent(pairs[i]).split('=');
        queryObject[splits[0]] = splits[1];
    }
    return queryObject;
}

function appendDeployVersion(url){
    if(/^http(s)?:\/\/\./.test(url) || /^\/proxy\.js\/.test(url) ||
/^\/\//.test(url)){
        return url;
    }
    if(url.indexOf('?') > -1){
        url = url + '&wab_dv=' + deployVersion;
    }else{
        url = url + '?wab_dv=' + deployVersion;
    }
    return url;
}
global.userAgent = _detectUserAgent();
global.isMobileUa = _isMobileUa();

```

```
))(window);
```

Лістинг частини коду реалізації методу визначення спалених пожежами територій за космічними знімками

```
def load_satellite_info_table(self):
    global flag_for_updates
    flag_for_updates = 0
    self.load_table_func()
    self.ui.dbStatusBar_label.setText("Satellite info table was loaded")
def load_band_type_table(self):
    global flag_for_updates
    flag_for_updates = 1
    self.load_table_func()
    self.ui.dbStatusBar_label.setText("Band type table was loaded")

def load_satellite_img_table(self):
    global flag_for_updates
    flag_for_updates = 2
    self.load_table_func()
    self.ui.dbStatusBar_label.setText("Satellite image table was loaded")

def load_fire_info_table(self):
    global flag_for_updates
    flag_for_updates = 3
    self.load_table_func()
    self.ui.dbStatusBar_label.setText("Fire info table was loaded")

def load_fire_img_table(self):
    global flag_for_updates
    flag_for_updates = 4
    self.load_table_func()
    self.ui.dbStatusBar_label.setText("Fire image table was loaded")

def load_table_func(self):
    global table_identifiers
    table_identifiers = []
    self.ui.dbwin_lineEdit_idForDelete.setText("")
    self.ui.dbwin_label_msgEmptyTable.setVisible(False)
    try:
        cursor.execute(mysqlQueryTables[flag_for_updates])
        loadTable = cursor.fetchall()
        rows = len(loadTable)
        columns = len(loadTable[0])
        self.ui.dbwin_tableWidget.setColumnCount(columns)
        self.ui.dbwin_tableWidget.setRowCount(rows)
        #####
        '''
        self.ui.AW_add_TableWidget.setColumnCount(columns)
        self.ui.AW_add_TableWidget.setRowCount(1)
        self.ui.AW_add_TableWidget.setVerticalHeaderLabels([""])
        tableHeaderForAdd = self.ui.AW_add_TableWidget.horizontalHeader()
        for i in range(columns):
            tableHeaderForAdd.setSectionResizeMode(i,
QtWidgets.QHeaderView.Stretch)
        '''
        #####
        for i in range(rows):
            table_identifiers.append(loadTable[i][0])
            for j in range(columns):
                if (flag_for_updates == 1 and j == 4):
                    if (str(loadTable[i][j]) != "None"):
                        self.ui.dbwin_tableWidget.setItem(i, j,
```

```

QtWidgets.QTableWidgetItem("BLOB"))
        else:
            self.ui.dbwin_tableWidget.setItem(i, j,
QtWidgets.QTableWidgetItem("None"))
        elif (flag_for_updates == 4 and (j == 5 or j == 6)):
            if (str(loadTable[i][j]) != "None"):
                self.ui.dbwin_tableWidget.setItem(i, j,
QtWidgets.QTableWidgetItem("BLOB"))
            else:
                self.ui.dbwin_tableWidget.setItem(i, j,
QtWidgets.QTableWidgetItem("None"))
        else:
            self.ui.dbwin_tableWidget.setItem(i, j,
QtWidgets.QTableWidgetItem(str(loadTable[i][j])))
        print(table_identifiers)
        self.ui.dbwin_tableWidget.resizeColumnsToContents()
        self.ui.dbwin_tableWidget.setStyleSheet("QTableWidget{\n"
        "border: 3px solid
#e84545;\n"
        "\n"
        "QTableWidget::item{\n"
        "color: #e84545;\n"
        "}\n"
        "QTableWidget::item:selected{\n"
        "background: #e84545;\n"
        "color: #2b2e4a;\n"
        "}")
        #self.ui.AW_TableWidget.hideColumn(1)
        #self.ui.AW_add_TableWidget.resizeColumnsToContents()
        self.ui.dbwin_tableWidget.verticalHeader().setVisible(False)
        if (flag_for_updates == 0):

self.ui.dbwin_tableWidget.setHorizontalHeaderLabels(stlltInfoTableHeaders)
        if (flag_for_updates == 1):

self.ui.dbwin_tableWidget.setHorizontalHeaderLabels(bandTypeTableHeaders)
        if (flag_for_updates == 2):

self.ui.dbwin_tableWidget.setHorizontalHeaderLabels(stlltImgTableHeaders)
        if (flag_for_updates == 3):

self.ui.dbwin_tableWidget.setHorizontalHeaderLabels(fireInfoTableHeaders)
        if (flag_for_updates == 4):

self.ui.dbwin_tableWidget.setHorizontalHeaderLabels(fireImgTableHeaders)
        except:
            self.ui.dbwin_tableWidget.clear()
            self.ui.dbwin_tableWidget.clearContents()
            self.ui.dbwin_label_msgEmptyTable.setVisible(True)
            self.ui.dbwin_label_msgEmptyTable.setText("The loading table is
empty!")

def update_table(self):
    rows = self.ui.dbwin_tableWidget.rowCount()
    columns = self.ui.dbwin_tableWidget.columnCount() - 1
    if (flag_for_updates == 0):
        try:
            rowForUpdate = []
            for i in range(rows):
                for j in range(columns):
                    rowForUpdate.append(self.ui.dbwin_tableWidget.item(i, j +

```

```

1).text())
        rowForUpdate.append(table_identifiers[i])
        tupleForUpdate = tuple(rowForUpdate)
        cursor.execute(mySQLQueryUpdates[flag_for_updates],
tupleForUpdate)
        db.commit()
        rowForUpdate.clear()
        self.ui.dbStatusBar_label.setText("Table satellite info was
updated!")
    except:
        self.ui.dbStatusBar_label.setText("The table was not updated!
Something go wrong")
    if (flag_for_updates == 1):
        try:
            rowForUpdate = []
            for i in range(rows):
                rowForUpdate.append(self.ui.dbwin_tableWidget.item(i,
1).text())
                rowForUpdate.append(self.ui.dbwin_tableWidget.item(i,
2).text())
                rowForUpdate.append(self.ui.dbwin_tableWidget.item(i,
3).text())
                rowForUpdate.append(i + 1)
            tupleForUpdate = tuple(rowForUpdate)
            cursor.execute(mySQLQueryUpdates[flag_for_updates],
tupleForUpdate)
            db.commit()
            rowForUpdate.clear()
            self.ui.dbStatusBar_label.setText("Table band type was updated!
Warning: you can update band num, type and description only")
        except:
            self.ui.dbStatusBar_label.setText("The table was not updated!
Something go wrong")
    if (flag_for_updates == 2):
        try:
            rowForUpdate = []
            for i in range(rows):
                for j in range(columns):
                    rowForUpdate.append(self.ui.dbwin_tableWidget.item(i, j +
1).text())
                    rowForUpdate.append(table_identifiers[i])
                    tupleForUpdate = tuple(rowForUpdate)
                    cursor.execute(mySQLQueryUpdates[flag_for_updates],
tupleForUpdate)
                    db.commit()
                    rowForUpdate.clear()
                    self.ui.dbStatusBar_label.setText("Table satellite image was
updated!")
        except:
            self.ui.dbStatusBar_label.setText("The table was not updated! No
satellite image information or band was found by such id")
    if (flag_for_updates == 3):
        try:
            rowForUpdate = []
            for i in range(rows):
                for j in range(columns):
                    rowForUpdate.append(self.ui.dbwin_tableWidget.item(i, j +
1).text())
                    rowForUpdate.append(table_identifiers[i])
                    tupleForUpdate = tuple(rowForUpdate)
                    cursor.execute(mySQLQueryUpdates[flag_for_updates],
tupleForUpdate)
                    db.commit()

```

```

        rowForUpdate.clear()
        self.ui.dbStatusBar_label.setText("Table fire info image was
updated!")
    except:
        self.ui.dbStatusBar_label.setText("The table was not updated!
Something go wrong")
    if (flag_for_updates == 4):
        try:
            rowForUpdate = []
            for i in range(rows):
                rowForUpdate.append(self.ui.dbwin_tableWidget.item(i,
1).text())
                rowForUpdate.append(self.ui.dbwin_tableWidget.item(i,
2).text())
                rowForUpdate.append(self.ui.dbwin_tableWidget.item(i,
4).text())
                rowForUpdate.append(i + 1)
            tupleForUpdate = tuple(rowForUpdate)
            cursor.execute(mySQLQueryUpdates[flag_for_updates],
tupleForUpdate)
            db.commit()
            rowForUpdate.clear()
            self.ui.dbStatusBar_label.setText("Table fire image was updated!
Warning: you can update prefire id, postfire id and fire info id only")
        except:
            self.ui.dbStatusBar_label.setText("The table was not updated! No
fire information or prefire or postfire satellite image was found by such
id")

def load_addbandwin(self):
    self.window = QtWidgets.QMainWindow()
    self.ui = Ui_AddBandWin()
    self.ui.setupUi(self.window)
    self.window.setWindowModality(QtCore.Qt.ApplicationModal)
    self.window.show()

    self.ui.abw_buttt_addBandToBD.clicked.connect(self.add_band_to_bd)
    self.ui.abw_buttt_pathToTiff.clicked.connect(self.openTiffFile)
    self.ui.abw_buttt_cancel.clicked.connect(self.close_addbandwin)

def add_band_to_bd(self):
    global tiff_file_path
    insertBandFlag = True
    band_num = self.ui.abw_lineEdit_bandNum.text()
    if not (band_num.isdecimal() and int(band_num) >= 1 and int(band_num) <=
8):
        insertBandFlag = False
        self.ui.abw_lineEdit_bandNum.setText("Only number from 1 to 8")
    band_type = self.ui.abw_lineEdit_bandType.text()
    if (band_type == ""):
        insertBandFlag = False
        self.ui.abw_lineEdit_bandType.setText("Field must be filled")
    band_description = self.ui.abw_textEdit_bandDscrptn.toPlainText()
    if (band_description == ""):
        insertBandFlag = False
        self.ui.abw_textEdit_bandDscrptn.setText("Field must be filled")
    convertedTIFF = "None"
    if (insertBandFlag):
        if (tiff_file_path[0]):
            convertedTIFF = convertToBinary(tiff_file_path[0])
        mySQLQuery = "insert into band_type(band_num, band_type,
band_description, band_TIFF) value (%s, %s, %s, %s);"
        cursor.execute(mySQLQuery, (band_num, band_type, band_description,

```

```

convertedTIFF))
    db.commit()
    tiff_file_path = [""]
    if (window_flag == "add sat img win"):
        mySQLQuery = "select band_id from band_type order by band_id desc
limit 1"
        cursor.execute(mySQLQuery)
        band_id = cursor.fetchall()
        if (band_num == "1"):
            sat_img_form_values['band1'] = band_id[0][0]
        if (band_num == "2"):
            sat_img_form_values['band2'] = band_id[0][0]
        if (band_num == "3"):
            sat_img_form_values['band3'] = band_id[0][0]
        if (band_num == "4"):
            sat_img_form_values['band4'] = band_id[0][0]
        if (band_num == "5"):
            sat_img_form_values['band5'] = band_id[0][0]
        if (band_num == "6"):
            sat_img_form_values['band6'] = band_id[0][0]
        if (band_num == "7"):
            sat_img_form_values['band7'] = band_id[0][0]
        if (band_num == "8"):
            sat_img_form_values['band8'] = band_id[0][0]
    self.window.close()
    if (window_flag == "add sat img win"):
        self.load_addsatimgwin()
    else:
        self.load_bdwin()
        self.ui.dbStatusBar_label.setText("New band was added to
database")

def openTiffFile(self):
    global tiff_file_path
    tiff_file_path = QFileDialog.getOpenFileName(self, "Open a tiff file",

"C:\\Users\\Alexandr\\PycharmProjects\\dNBR", "Bands files (*.tif)")
    if (tiff_file_path[0]):
        self.ui.abw_label_tiffIcon.setStyleSheet(
            "background:
url(C:/Users/Alexandr/PycharmProjects/dNBR/icons/tiff.png) no-repeat;")
    else:
        self.ui.abw_label_tiffIcon.setStyleSheet(
            "background:
url(C:/Users/Alexandr/PycharmProjects/dNBR/icons/notiff.png) no-repeat;")

def close_addbandwin(self):
    self.window.close()
    if (window_flag == "add sat img win"):
        self.load_addsatimgwin()
    else:
        self.load_bdwin()

def load_addsatimginfowin(self):
    self.window = QtWidgets.QMainWindow()
    self.ui = Ui_AddSatImgInfoWin()
    self.ui.setupUi(self.window)
    self.window.setWindowModality(QtCore.Qt.ApplicationModal)
    self.window.show()

self.ui.asinfow_buttt_addsatinfotobd.clicked.connect(self.add_sat_info_to_bd)
self.ui.asinfow_buttt_cancel.clicked.connect(self.close_addsatimginfowin)

```



```

def add_sat_info_to_bd(self):
    global sat_img_form_values
    insertSatInfoFlag = True
    satellite = self.ui.asinfow_lineEdit_satellite.text()
    if (satellite == ""):
        insertSatInfoFlag = False
        self.ui.asinfow_lineEdit_satellite.setText("Please fill in the
field")
    sensor = self.ui.asinfow_lineEdit_sensor.text()
    if (sensor == ""):
        insertSatInfoFlag = False
        self.ui.asinfow_lineEdit_sensor.setText("Please fill in the field")
    date = self.ui.asinfow_lineEdit_date.text()
    datepattern = '\d{2} \d{2} \d{4}'
    if (re.match(datepattern, date) is None):
        insertSatInfoFlag = False
        self.ui.asinfow_lineEdit_date.setText("Date format:dd mm yyyy")
    sat_num = self.ui.asinfow_lineEdit_satnum.text()
    if (not sat_num.isdigit()):
        insertSatInfoFlag = False
        self.ui.asinfow_lineEdit_satnum.setText("Only numbers")
    coll_num = self.ui.asinfow_lineEdit_collnum.text()
    if (not coll_num.isdigit()):
        insertSatInfoFlag = False
        self.ui.asinfow_lineEdit_collnum.setText("Only numbers")
    coll_ctgr = self.ui.asinfow_lineEdit_collcat.text()
    if (coll_ctgr == ""):
        insertSatInfoFlag = False
        self.ui.asinfow_lineEdit_collcat.setText("Please fill in the field")
    wrs_path = self.ui.asinfow_lineEdit_WRSpath.text()
    if (not wrs_path.isdigit()):
        insertSatInfoFlag = False
        self.ui.asinfow_lineEdit_WRSpath.setText("Only numbers")
    wrs_row = self.ui.asinfow_lineEdit_WRSrow.text()
    if (not wrs_row.isdigit()):
        insertSatInfoFlag = False
        self.ui.asinfow_lineEdit_WRSrow.setText("Only numbers")
    if (insertSatInfoFlag):
        MySQLQuery = "insert into satellite_info(satellite, sensor, img_date,
stllt_num, cllctn_num, cllct_ctgr, " \
                    "WRS_path, WRS_row) value (%s, %s, %s, %s, %s, %s, %s,
%s);"
        cursor.execute(MySQLQuery, (satellite, sensor, date, sat_num,
coll_num, coll_ctgr, wrs_path, wrs_row))
        db.commit()
        if (window_flag == "add sat img win"):
            MySQLQuery = "select stllt_info_id from satellite_info order by
stllt_info_id desc limit 1"
            cursor.execute(MySQLQuery)
            stllt_info_id = cursor.fetchall()
            sat_img_form_values['satinfo'] = stllt_info_id[0][0]
            self.window.close()
            if (window_flag == "add sat img win"):
                self.load_addsatimgwin()
            else:
                self.load_bdwin()
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("New satellite image info was
added to database")

def close_addsatimginfowin(self):
    self.window.close()
    if (window_flag == "add sat img win"):

```

```

        self.load_addsatimgwin()
    else:
        self.load_bdwin()

def load_addsatimgwin(self):
    self.window = QtWidgets.QMainWindow()
    self.ui = Ui_AddSatImgWin()
    self.ui.setupUi(self.window)
    self.window.setWindowModality(QtCore.Qt.ApplicationModal)
    self.window.show()
    checkAddSatImgWinFields(self.ui)

    self.ui.asimgw_buttt_addsatimgtobd.clicked.connect(self.add_sat_img_to_bd)
    self.ui.asimgw_buttt_addSatInfo.clicked.connect(self.attach_sat_info)
    self.ui.asimgw_buttt_cancel.clicked.connect(self.close_addsatimgwin)
    self.ui.asimgw_buttt_band1.clicked.connect(self.attach_band)
    self.ui.asimgw_buttt_band2.clicked.connect(self.attach_band)
    self.ui.asimgw_buttt_band3.clicked.connect(self.attach_band)
    self.ui.asimgw_buttt_band4.clicked.connect(self.attach_band)
    self.ui.asimgw_buttt_band5.clicked.connect(self.attach_band)
    self.ui.asimgw_buttt_band6.clicked.connect(self.attach_band)
    self.ui.asimgw_buttt_band7.clicked.connect(self.attach_band)
    self.ui.asimgw_buttt_band8.clicked.connect(self.attach_band)

def attach_sat_info(self):
    global window_flag
    window_flag = "add sat img win"
    self.load_addsatimginfowin()

def attach_band(self):
    global window_flag
    window_flag = "add sat img win"
    self.load_addbandwin()

def add_sat_img_to_bd(self):
    global window_flag
    global sat_img_form_values
    window_flag = ""
    row_for_insert = sat_img_form_values.values()
    if None in row_for_insert:
        self.ui.asimgw_label_message.setVisible(True)
    else:
        mySQLQuery = "insert into satellite_image(stllt_info_id, band1_id,
band2_id, band3_id, band4_id, " \
                    "band5_id, band6_id, band7_id, band8_id) value (%s, %s,
%s, %s, %s, %s, %s, %s);"
        cursor.execute(mySQLQuery, tuple(row_for_insert))
        db.commit()
        for key in sat_img_form_values:
            sat_img_form_values[key] = None
        self.window.close()
        if (firewindow_flag == "fire img win"):
            mySQLQuery = "select stllt_img_id from satellite_image order by
stllt_img_id desc limit 1"
            cursor.execute(mySQLQuery)
            stllt_img_id = cursor.fetchall()
            if (pre_or_post_flag == "pre"):
                fire_img_form_values['prefire'] = stllt_img_id[0][0]
            if (pre_or_post_flag == "post"):
                fire_img_form_values['postfire'] = stllt_img_id[0][0]
            self.load_addfireimgwin()
        else:
            self.load_bdwin()

```

```

        self.ui.dbStatusBar_label.setText("New satellite image was added
to database")

def close_addsatimgwin(self):
    global window_flag
    global sat_img_form_values
    for key in sat_img_form_values:
        sat_img_form_values[key] = None
    window_flag = ""
    self.window.close()
    if (firewindow_flag == "fire img win"):
        self.load_addfireimgwin()
    else:
        self.load_bdwin()

def load_addfireinfowin(self):
    self.window = QtWidgets.QMainWindow()
    self.ui = Ui_AddFireInfoWin()
    self.ui.setupUi(self.window)
    self.window.setWindowModality(QtCore.Qt.ApplicationModal)
    self.window.show()

self.ui.afireinfw_buttt_addfireinfotobd.clicked.connect(self.add_fire_info_to_
bd)
    self.ui.afireinfw_buttt_cancel.clicked.connect(self.close_addfireinfowin)

def add_fire_info_to_bd(self):
    global fire_img_form_values
    insertFireInfoFlag = True
    fireplace = self.ui.afireinfw_lineEdit_fireplace.text()
    if (fireplace == ""):
        insertFireInfoFlag = False
        self.ui.afireinfw_lineEdit_fireplace.setText("Please fill in the
field")
    firedscrptn = self.ui.afireinfw_textEdit_firedscrptn.toPlainText()
    if (firedscrptn == ""):
        insertFireInfoFlag = False
        self.ui.afireinfw_textEdit_firedscrptn.setText("Please fill in the
field")
    begdate = self.ui.afireinfw_lineEdit_begdate.text()
    datepattern = '\d{2} \d{2} \d{4}'
    if (re.match(datepattern, begdate) is None):
        insertFireInfoFlag = False
        self.ui.afireinfw_lineEdit_begdate.setText("Date format:dd mm yyyy")
    enddate = self.ui.afireinfw_lineEdit_enddate.text()
    if (re.match(datepattern, enddate) is None):
        insertFireInfoFlag = False
        self.ui.afireinfw_lineEdit_enddate.setText("Date format:dd mm yyyy")
    if (insertFireInfoFlag):
        mySQLQuery = "insert into fire_info(beginning_date, ending_date,
fire_place, fire_description) value (%s, %s, %s, %s);"
        cursor.execute(mySQLQuery, (begdate, enddate, fireplace,
firedscrptn))
        db.commit()
        self.window.close()
        if (firewindow_flag == "fire img win"):
            mySQLQuery = "select fire_info_id from fire_info order by
fire_info_id desc limit 1"
            cursor.execute(mySQLQuery)
            fire_info_id = cursor.fetchall()
            fire_img_form_values['fireinfo'] = fire_info_id[0][0]
            self.load_addfireimgwin()

```

```

        else:
            self.load_bdwin()
            self.ui.dbStatusBar_label.setText("New fire info was added to
database")

def close_addfireinfowin(self):
    self.window.close()
    if (firewindow_flag == "fire img win"):
        self.load_addfireimgwin()
    else:
        self.load_bdwin()

def delete_from_bd(self):
    id_for_delete = self.ui.dbwin_lineEdit_idForDelete.text()
    if (id_for_delete.isdecimal()):
        if (flag_for_updates == -1):
            self.ui.dbStatusBar_label.setText("No table selected for
deletion! Please download one")
        if (flag_for_updates == 0):
            try:
                cursor.execute(mySQLQueryDeletions[flag_for_updates],
(id_for_delete,))
                db.commit()
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("The satellite info was
deleted")
            except:
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("This satellite info tied
to satellite image. You cannot delete it without "
                                                    "deleting satellite image!
Please delete satellite image first")
                if (flag_for_updates == 1):
                    try:
                        cursor.execute(mySQLQueryDeletions[flag_for_updates],
(id_for_delete,))
                        db.commit()
                        self.ui.dbStatusBar_label.setText("The band was deleted")
                    except:
                        self.ui.dbStatusBar_label.setText("This band tied to
satellite image. You cannot delete it without "
                                                            "deleting satellite image!
Please delete satellite image first")
                if (flag_for_updates == 2):
                    showYesNoButtons(self.ui, True)
                    self.ui.dbStatusBar_label.setText("Do you also want to delete all
related information?")
                if (flag_for_updates == 3):
                    try:
                        cursor.execute(mySQLQueryDeletions[flag_for_updates],
(id_for_delete,))
                        db.commit()
                        self.ui.dbStatusBar_label.setText("The fire info was
deleted")
                    except:
                        self.ui.dbStatusBar_label.setText("This fire info tied to
fire image. You cannot delete it without "
                                                            "deleting fire image!
Please delete fire image first")
                if (flag_for_updates == 4):
                    showYesNoButtons(self.ui, True)
                    self.ui.dbStatusBar_label.setText("Do you also want to delete all
related information?")

        else:

```

```

        self.ui.dbStatusBar_label.setText("Incorrect ID! ID must be decimal!
Please try again")

def confirm_deletion(self):
    id_for_delete = self.ui.dbwin_lineEdit_idForDelete.text()
    if (id_for_delete.isdecimal()):
        if (flag_for_updates == 2):
            if(deleteSatelliteImage(id_for_delete)):
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("The satellite image and
all related information were deleted")
            else:
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("This satellite image tied
to fire image. You cannot delete "
                                                "it without deleting fire
image! Please delete fire image first")
        if (flag_for_updates == 4):
            mySQLQuery = "select * from fire_image where fire_img_id = %s;"
            cursor.execute(mySQLQuery, (id_for_delete,))
            fire_img_row = cursor.fetchone()
            if(deleteSatelliteImage(fire_img_row[1]) and
deleteSatelliteImage(fire_img_row[2])):
                cursor.execute(mySQLQueryDeletions[3], (fire_img_row[4],))
                db.commit()
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("The fire image and all
related information were deleted")
            else:
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("Something go wrong")

        else:
            self.ui.dbStatusBar_label.setText("Incorrect ID! ID must be decimal!
Please try again")
            showYesNoButtons(self.ui, False)

def reject_deletion(self):
    id_for_delete = self.ui.dbwin_lineEdit_idForDelete.text()
    if (id_for_delete.isdecimal()):
        if (flag_for_updates == 2):
            try:
                cursor.execute(mySQLQueryDeletions[flag_for_updates],
(id_for_delete,))
                db.commit()
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("The satellite image was
deleted")
            except:
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("This satellite image tied
to fire image. You cannot delete "
                                                "it without deleting fire
image! Please delete fire image first")
        if (flag_for_updates == 4):
            try:
                cursor.execute(mySQLQueryDeletions[flag_for_updates],
(id_for_delete,))
                db.commit()
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("The fire image was
deleted")
            except:
                self.ui.dbStatusBar_label.setText("Something go wrong!")
        else:
            self.ui.dbStatusBar_label.setText("Incorrect ID! ID must be decimal!
Please try again")
            showYesNoButtons(self.ui, False)

```

```

def load_addfireimgwin(self):
    # if type(dnbr Landsat_class_for_export) == int:
    #     self.ui.label_errordNBR.setVisible(True)
    #     self.ui.label_errordNBR.setText("dnBR have not been calculated!")
    # else:
    #     self.ui.label_errordNBR.setVisible(False)
    self.window = QtWidgets.QMainWindow()
    self.ui = Ui_AddFireImageWin()
    self.ui.setupUi(self.window)
    self.window.setWindowModality(QtCore.Qt.ApplicationModal)
    self.window.show()
    self.ui.afireimgw_label_msgAddFields.setVisible(False)
    checkAddFireImgWinFields(self.ui)

self.ui.afireimgw_butt_addfireimgtobd.clicked.connect(self.add_fire_img_to_bd
)

self.ui.afireimgw_butt_cancel.clicked.connect(self.close_addfireimgwin)

self.ui.afireimgw_butt_addPreSatImg.clicked.connect(self.attach_pre_sat_img)

self.ui.afireimgw_butt_addPostSatImg.clicked.connect(self.attach_post_sat_img
)

self.ui.afireimgw_butt_addFireInfo.clicked.connect(self.attach_fire_info)

def attach_pre_sat_img(self):
    global firewindow_flag
    global pre_or_post_flag
    firewindow_flag = "fire img win"
    pre_or_post_flag = "pre"
    self.load_addsatimgwin()

def attach_post_sat_img(self):
    global firewindow_flag
    global pre_or_post_flag
    firewindow_flag = "fire img win"
    pre_or_post_flag = "post"
    self.load_addsatimgwin()

def attach_fire_info(self):
    global firewindow_flag
    firewindow_flag = "fire img win"
    self.load_addfireinfowin()

def add_fire_img_to_bd(self):
    global fire_img_form_values
    global firewindow_flag
    fire_img_form_values['area'] = area
    converted_fire_tiff =
convertToBinary(r"C:\Users\Alexandr\PycharmProjects\dnBR\cold-springs-
fire\outputs\mydnbr_Landsat.tif")
    converted_fire_png =
convertToBinary(r"C:\Users\Alexandr\PycharmProjects\dnBR\landsat-
images\dnBR.png")
    row_for_insert = list(fire_img_form_values.values())
    print(row_for_insert)
    if None in row_for_insert:
        self.ui.afireimgw_label_msgAddFields.setVisible(True)
    else:
        try:
            mySQLQuery = "insert into fire_image(prefire_img_id,

```

```

postfire_img_id, square, fire_info_id, fire_TIFF, fire_TIFFPNG) " \
    "value (%s, %s, %s, %s, %s, %s);"
    cursor.execute(mySQLQuery, (int(row_for_insert[0]),
int(row_for_insert[1]), float(row_for_insert[2]),
                                int(row_for_insert[3]),
converted_fire_tiff, converted_fire_png))
    db.commit()
except:
    print("Nu sho takoe blyat")

    for key in fire_img_form_values:
        fire_img_form_values[key] = None
    firewindow_flag = ""
    self.window.close()
    self.load_dnbrwin()

def close_addfireimgwin(self):
    global fire_img_form_values
    global firewindow_flag
    firewindow_flag = ""
    for key in fire_img_form_values:
        fire_img_form_values[key] = None
    self.window.close()
    self.load_dnbrwin()

```