

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ В ЛІСАХ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ НА ПРИКЛАДІ ЛІСІВ УКРАЇНИ

Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України

Анотація

Запропоновано математичну модель прогнозування пожежної небезпеки в лісах за супутниковими даними, яка може допомогти оцінити рівень загрози в лісових масивах України

Ключові слова: пожежна небезпека в лісових масивах, супутникові дані, кореляція, PCA, UMAP, важкодоступні території

Abstract

A mathematical model for forest fire danger prediction using satellite data is proposed which could help in fire threat estimation in Ukrainian forests

Keywords: fire danger in forests, satellite data, correlation, PCA, UMAP, hard-to-reach areas

Вступ

Лісові пожежі мають як регулятивний, так і руйнівний вплив, причому частка останнього стає все більшою. Згідно дослідженням, на це може певним чином впливати сонячна активність [1], а також різноманітні кліматичні та біофізичні параметри. На їх основі вже було побудовано прогностичні моделі з застосуванням різноманітних штучних нейромереж [2, 3, 4]. Актуальність проблеми підтверджує модель, яка прогнозує кратне збільшення площ пожеж в природному середовищі і зміщення їх у більш високі широти до кінця XXI століття [5]. В Україні проблема є гострою також внаслідок інтенсивного мінування та можливих обстрілів приграничних територій, коли традиційний моніторинг лісниками стає небезпечним.

Метою дослідження є побудова математичної моделі ризику виникнення пожежі на основі супутникових даних для лісів України і лісів подібної кліматичної зони з подальшим масштабуванням на інші кліматичні зони. При цьому буде враховано параметри, кожний з яких сам по собі може не впливати суттєво на пожежну небезпеку, але які в сукупності є вагомим її фактором (тип лісового масиву, погодні умови і їх зміна, рельєф, склад атмосфери, стан рослинності тощо). Для вирішення задачі дослідження працювали з Google Earth Engine (GEE) – хмарною платформою, що містить динамічні колекції попередньо оброблених результатів зондування Землі багатьма штучними супутниками. Її перевагами є надзвичайно великий об'єм різноманітних геопросторових даних і безкоштовний доступ до них.

Методи дослідження

За допомогою набору даних FireCCI51 було отримано дані про місця пожеж (координати та дата) на території України протягом 2017-2020 років. Оскільки дослідження було зосереджене на лісах, дані збирались по північно-західних та західних регіонах (Полісся, Карпати). Кожній пожежній локації ставилась у відповідність одна не пожежна: бралися координати точки пожежі і зчитувались дані тієї ж точки, але на рік раніше. Врешті-решт було отримано 3278 точок. Пожежні було марковано як 1, решту – як -1.

За допомогою інших датасетів GEE отримали дані, які теоретично могли впливати на пожежну небезпеку (фотосинтетично активна радіація, кількість непарного кисню в атмосферному стовпі, опади, поглинання кисню, хлорофілу, валова первинна продукція, сумарне випаровування тощо). Ці параметри було отримано протягом тижня, що передував пожежі (чи просто протягом тижня до дати вимірів у не пожежних точках), після чого обчислено їх перші та другі похідні. Далі перевірили

кореляцію кожного з отриманих атрибутів з фактом пожежі, залишивши в решті-решт тільки ті, де кореляція за модулем була не менша за 0,2. Для параметрів, що вимірювалися лише раз на тиждень, на кореляцію перевіряли лише один атрибут.

Залишилось 15 атрибутів, тобто вибірка являла собою 3278 векторів у 15-вимірному просторі. Оскільки за своєю природою атрибути не були взаємно незалежними, базис ортогоналізували. Це було зроблено двома способами. В першому випадку застосували метод головних компонент PCA. В другому дані було перетворено методом UMAP. В обох випадках після цього кожний атрибут в новому базисі піддали статистичній обробці, а далі побудували модель прогнозування пожежної небезпеки на базі добутку умовних ймовірностей.

Обговорення результатів

Побудовані моделі було випробувано на вихідній вибірці. Результати подано у вигляді матриць невідповідностей (Рис. 1) і ROC-кривих (Рис. 2).

| PCA | Пожежа | Не пожежа | | UMAP | Пожежа | Не пожежа |
|-----------|--------|-----------|--|-----------|--------|-----------|
| Пожежа | 94% | 23% | | Пожежа | 82% | 24% |
| Не пожежа | 6% | 77% | | Не пожежа | 18% | 76% |

Рис. 1. Матриці невідповідностей для моделі прогнозування пожежної небезпеки в лісах України

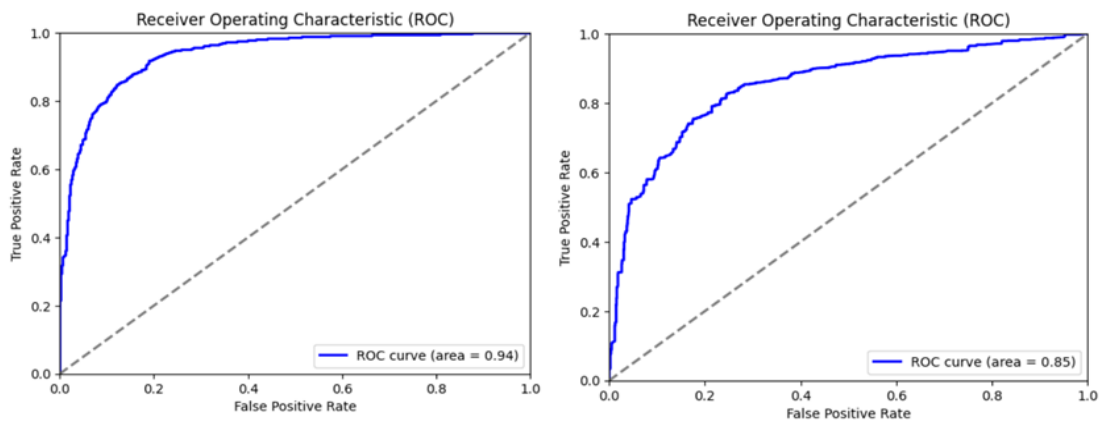


Рис. 2. ROC-криві для моделі прогнозування (PCA ліворуч, UMAP праворуч)

Можна побачити, що модель вже дає високий результат, при тому, що на даному етапі досліджень не було застосоване машинне навчання.

В ролі тестової вибірки взято дані по лісах Польщі в ті самі роки (2017-2020). Результати виявилися значно гіршими. Зокрема у випадку використання PCA не пожежні ділянки розпізнавалися дуже погано (менше 50%), тож наведено матрицю невідповідності (Рис. 3) і ROC-криву (Рис. 4) виключно для UMAP.

| UMAP | Пожежа | Не пожежа |
|-----------|--------|-----------|
| Пожежа | 69% | 45% |
| Не пожежа | 31% | 55% |

Рис. 3. Матриця невідповідностей для моделі прогнозування пожежної небезпеки в лісах Польщі

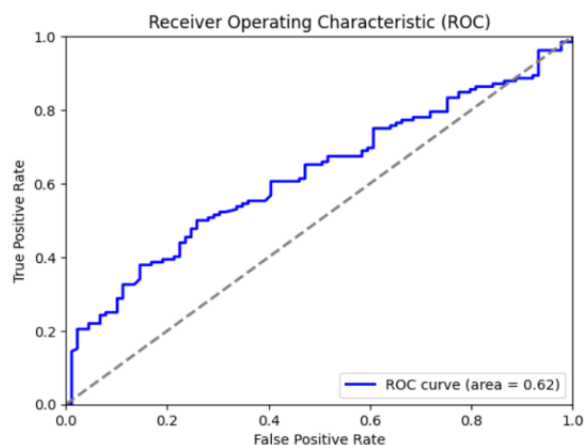


Рис. 4. ROC-крива для моделі прогнозування у випадку Польщі

Передумовами таких результатів можуть бути значно менший об'єм вибірки (314 проти 3278) і вплив людського фактору (жорсткіше законодавство щодо розведення багат, пильніше відстеження потенційної пожежної небезпеки у лісових господарствах тощо). З іншого боку, причиною може бути недосконалість моделі. Можливо, потрібна подальша перевірка її в інших умовах або покращення, наприклад, шляхом модифікації алгоритму пошуку точок пожеж, введення додаткових параметрів чи застосування алгоритмів машинного навчання.

Висновки

Побудовано математичну модель прогнозування пожежної небезпеки в лісах за допомогою супутникових даних. Вона продемонструвала досить високий результат для лісів України навіть при тому, що не були використані методи машинного навчання. Щоправда, при роботі з лісами Польщі результативність знизилась. Таким чином, модель потребує подальшого вдосконалення, але є дієвою і потенційно може бути поширена на інші регіони.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Vykylyuk Y. Connection of Solar Activities and Forest Fires in 2018: Events in the USA (California), Portugal and Greece [Electronic resource] / Y. Vykylyuk, M. M. Radovanović, G. Stanojević and others // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, no. 24. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/su122410261> (date of access: 4.06.2024). – Title from screen.
2. Santopaolo A. Forest Fire Risk Prediction from Satellite Data with Convolutional Neural Networks [Electronic resource] / A. Santopaolo, S.S. Saif, A. Pietrabissa, A. Giuseppi // 29th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), June 2021. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/MED51440.2021.9480226> (date of access: 4.06.2024). – Title from screen.
3. Mohammed Z. Comparative study on machine learning algorithms for early fire forest detection system using geodata [Electronic resource] / Z. Mohammed, S. Hanae, L. Setti // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – 2020. – Vol. 10, no. 5. – P. 5507–5513. – Mode of access: <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i5.pp5507-5513> (date of access: 4.06.2024). – Title from screen.
4. Zhang G. Deep neural networks for global wildfire susceptibility modeling [Electronic resource] / G. Zhang, M. Wang, K. Liu // Ecological Indicators. – 2021. – Vol. 127. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107735> (date of access: 4.06.2024). – Title from screen.
5. Zhang G. Current and Future Patterns of Global Wildfire Based on Deep Neural Networks [Electronic resource] / G. Zhang, M. Wang, B. Yang, K. Liu // Earth's Future. – 2024. – Vol. 12. – Mode of access: <https://doi.org/10.1029/2023EF004088> (date of access: 4.06.2024). – Title from screen.

Денков Іван Дем'янович – аспірант першого курсу Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ, email: havoc85@gmail.com

Назаренко Євген Володимирович – м.н.с. відділу автоматизації програмування, Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, email: eugn@ukr.net

Науковий керівник: **Тулчинський Вадим Григорович** – доктор фіз.-мат. наук, с.н.с., завідувач відділу автоматизації програмування, Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ, email: dep145@gmail.com

Denkov Ivan D. – V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, email: havoc85@gmail.com

Nazarenko Yevhen V. – Junior Researcher of the Programming Automation Department, V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, email: eugn@ukr.net

Supervisor: **Tulchynsky Vadym G.** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Head of the Programming Automation Department, V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, email: dep145@gmail.com