

ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

В. В. ПУТРЕНКО¹, Н. М. ПАШИНСЬКА²

¹ННК «Інститут прикладного системного аналізу»КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, УКРАЇНА

²кафедра інтелектуальних та інформаційних систем, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, УКРАЇНА

e-mail: putrenko@wdc.org.ua, n_pashynska@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглянуто методологічні підходи до використання індексних показників стану вегетації на основі даних дистанційного зондування програми Copernicus в якості підґрунтя для формування індексу пожежної небезпеки на територію України. Розроблено модель обробки даних глобальних земельних сервісів Copernicus з метою отримання значень індексу пожежної небезпеки. Отримані результати моделювання було верифіковано за допомогою даних про природні пожежі з використанням методів розрахунку географічно-зваженої регресії та кореляції між геопросторовими даними.

Ключові слова: фактори пожежної небезпеки; дистанційне зондування Землі; програма Copernicus; геоінформаційна модель; стандартна відстань; просторова регресія

APPLYING TOOLS OF GEOINFORMATION MODELING FOR FIRE HAZARD DATA MINING

V. PUTRENKO¹, N. PASHYNSKA²

¹ESC «Institute for Applied System Analysis», Igor Sikorsky KPI, Kyiv, UKRAINE

²Department of intellectual and information systems, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The methodological approaches to the use of index indicators of vegetation based on Copernicus program remote sensing data as a basis for forming an fire hazard index on the territory of Ukraine were considered. The purpose of this study is to develop indicative model based on the basic vegetation parameters of Copernicus program and its verification using available data about the monitoring of natural fires. As input parameters were chosen Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which is an indicator of the greenness of the biomes; Dry Matter Productivity (DMP), represents the overall growth rate or dry biomass increase of the vegetation, expressed in kilograms of dry matter per hectare per day; the Soil Water Index quantifies the moisture condition at various depths in the soil. Based on methods of combining data of different nature and mechanisms of normalization of geospatial data was obtained integral fire hazard index. The model of data processing of global land services Copernicus was developed for obtain fire hazard index values, which is implemented in the environment of ArcGIS 10.3. The results were verified by simulation using data on natural fires product Burnt Area using calculation methods geographically weighted regression and correlation of geospatial data. This was found closeness link between raster model fire hazard index and raster model of the density distribution of fires that have already appeared, which was calculated using optimization methods by establishing a standard distance. The close link between high values of the fire hazard index and high density of recorded fires was established. In the area of low values of indicators tightness of links is significantly reduced. This suggests the possibility of using ranges of high values of the fire hazard index for predicting natural fires with high probability and extends the scope of products processing using of program Copernicus.

Keywords: fire hazard factors; remote sensing; program Copernicus; GIS model; standard distance; spatial regression

Вступ

Сучасні космічні системи розвиваються швидкими темпами у напрямі удосконалення знімального обладнання, зростання його роздільної здатності, урізноманітнення знімальних технологій, розширення спектральних можливостей, часового та просторового охоплення території. Перелічені передумови стали основою бурхливого розвитку систем та інструментів моніторингу навколишнього середовища, в тому числі систем спостереження за станом сільськогосподарських угідь. Нині в цьому сегменті працює багато приватних та державних компаній у всьому світі. Основними напрямками

розвитку цього сектору економіки є постійне покращення якості вхідних даних та розширення спектру доступних даних, в тому числі відкритих даних. Найбільшими постачальниками даних ДЗЗ у вільному доступі є геологічна служба США та Європейське космічне агентство, яке за останні роки значно зміцнило групування космічних супутників ДЗЗ та розгорнуло програму Copernicus, в межах якої надаються безкоштовні дані космічної зйомки та похідні тематичні продукти, які можуть використовуватися під час аналізу стану рослинного покриву, кліматичних змін та забезпеченості водними ресурсами.

Copernicus є європейською системою для моніторингу Землі. Дані збираються з різних джерел, включаючи супутники спостереження Землі та датчики на місці. Дані обробляються і забезпечують достовірну та актуальну інформацію у шести тематичних областях: земний покрив, морські акваторії, атмосфера, зміна клімату, управління у надзвичайних ситуаціях та безпека.

Глобальний сервіс земного покриття є складовою частиною сервісу земного покриття Copernicus, який забезпечує ряд біогеофізичних продуктів про стан і еволюцію земної поверхні в глобальному масштабі із середнім та низьким просторовим розрізненням. Продукція використовується для моніторингу рослинності, водного циклу і енергетичного балансу.

В зв'язку з цим постає актуальне питання використання тематичних продуктів програми Copernicus для вивчення динаміки регіональних кліматичних змін та природних загроз на основі вивчення динамічної та структурної складової оцінок стану рослинного покриття для території України. Ці продукти отримуються на основі використання супутникових даних системи Proba-V.

Одним із напрямів, який підтримується системою, є накопичення даних про постраждалі в наслідок пожеж території. Продукт BurntArea містить дані про спалені протягом сезону земельні площі. Продукт дозволяє отримати як інтегровані відомості на певний період часу про площі пожеж, так і визначити появу нових пожеж за проміжок часу між зйомками. У 2015 році порівняно із 2014 роком, кількість пожеж в природних екосистемах збільшилась у 2,2 рази [1]. У цілому в Україні в середньому на рік фіксується близько 3,5 тис. лісових пожеж, які знищують більше 5 тис. гектарів лісу. Окрім лісових, серед природних пожеж виділяють торфові, степові та пожежі на сільськогосподарських угіддях. Вони мають різний характер у залежності від умов виникнення пожежі, рослинного та ґрунтового покриття. До основних груп природних факторів відносять рельєф, рослинний покрив та кліматичні ресурси, які разом визначають особливості ландшафтної структури та за певної вірогідності можуть сприяти виникненню пожеж. Тому необхідним етапом оцінки небезпек є вибір постійних та змінних факторів, які впливають на можливість виникнення пожеж.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

В останні роки зростає використання методів інтелектуального аналізу для дослідження та прогнозування природних пожеж. Активний розвиток технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та накопичення отриманих геопросторових даних зумовили збільшення кількості робіт, у яких досліджуються проблеми моніторингу природних

пожеж засобами дистанційного моніторингу [2]. Проте, автори зазначеної роботи основну увагу зосередили лише на технічних особливостях інструменту MODIS. Загальні підходи до використання геоінформаційних технологій для оцінки небезпек пожеж та їх картографування розглянуто в [3]. Разом з тим, в цій роботі недостатньо представлені аналітичні можливості геоінформаційного інструментарію для моніторингу та прогнозування пожеж. Автори роботи [4] пропонують використання нейромережевих алгоритмів у прогнозуванні лісових пожеж. Прогнозна інформація цього дослідження переважно базується на метеорологічних параметрах, без урахування інших факторів. Аналіз динаміки природних пожеж протягом декількох століть з використанням шести змінних показників викладено в роботі [5], проте акцент зроблено на характеристиках рельєфу. Методи просторового аналізу для дослідження та картографування зон пожежної небезпеки території використано авторами роботи [6]. Основну увагу приділено зональним факторам (рослинність, ґрунтовий покрив, підстилаюча поверхня) та не враховані кліматичні чинники. Статистичному оцінюванню ризиків природних стихійних лих, у тому числі пожеж, присвячено роботу [7]. У ній переважно розглянуті закономірності розподілу, виникнення та наслідки природних пожеж. Просторово-часові особливості пожеж досліджено авторами роботи [8]. Розроблено алгоритм просторово-часового прогнозування з використанням різних методів інтелектуального аналізу даних з основним акцентом на методиці дослідження. Використанню методів багатомірної регресії даних та штучних нейронних мереж для прогнозування природних пожеж присвячено роботу [9], яка базується лише на метеорологічних даних. Проблема застосування інтелектуального аналізу геопросторових даних для класифікації факторів виникнення пожеж розглянута у роботі [10]. Проте, проведена класифікація лише постійних факторів, але не враховано змінні (динамічні) фактори. Методи штучного інтелекту задіяні при аналізі пожеж у роботі [11]. Автори статті розробили методику для дослідження територій, що зазнали природних пожеж, однак не розглядають чинників їх виникнення. Еволюційна технологія для визначення часу і шляху поширення пожежі, що базується на продукційних правилах, визначених експертним шляхом запропонована авторами роботи [12]. У моделюванні шляху та часу поширення пожежі не враховані параметри джерел виникнення пожеж та їх наслідки.

Таким чином, незважаючи на значний масив робіт з використання методів інтелектуального аналізу для дослідження та прогнозування природних пожеж, потребують уточнення загальноприйняті алгоритми оцінки небезпек в залежності від природних умов території.

Мета та завдання дослідження

Метою даного дослідження є розробка індикативної моделі на основі базових індексів стану рослинності програми Copernicus та її верифікація з використанням наявних даних щодо моніторингу природних згарищ.

Завданнями дослідження є визначення основних індексів вегетації, які мають зв'язок з пожежною небезпекою, розробка моделі сумісного використання індексних даних різної природи, розробка методів та верифікація моделі на прикладі існуючої бази даних про пожежі.

Виклад основного матеріалу

Спалені області розглядаються як основна змінна у моніторингу кліматичних змін. Вона може бути об'єднана з інформацією про наявне використання палива та ефективність горіння (або витрат палива) для оцінки емісії викидів газів і аерозолів. Спалена поверхня може також включати в себе спалювання поверхневих та підземних органічних матеріалів, таких як торф. Вимірювання спалених площ можуть бути використані в якості вхідних даних для прямого застосування у моделюванні клімату і вуглецевого циклу, або, коли довгі часові ряди даних, для параметризації кліматичних моделей для передбачення спалених областей. Пожежоіндуковані викиди є значним земним джерелом парникових газів, з великою просторовою і часовою мінливістю.

Інформаційний продукт Burnt Area складається з декількох файлів:

Contaminated Pixel dekad composite (CP_DEKAD) – файл показує число спостережень, які не використовувались для виявлення згарищ протягом поточної декади. Таким чином, чим нижче значення, тим більше спостережень використовувалось для виявлення спалених поверхонь.

Burned Area dekad composite (BA_DEKAD) – файл вказує на те, що піксель був виявлений як спалений (значення 1) принаймні один раз в декаді. Значення 0 не обов'язково означає, що піксель був розпізнаний як не спалений.

First Day of Burn in the dekad (FDOB_DEKAD) – файл вказує перший день спаленої поверхні в даній декаді.

First Day of Burn just after Season Reset (FDOB_SEASON) – файл вказує перший день спаленої поверхні протягом однієї або більшої кількості декад сезону [13].

Серед продуктів Copernicus, що можуть характеризувати пожежну небезпеку слід також виділити оцінку індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), яка з одного боку може служити індикатором стану рослинного покриву, а з іншого вказувати на наявність сухої органіки, що придатна до горіння. Крім індексу NDVI важливим індексом, що

характеризує пожежний стан рослинності є індекс DMP, який вказує на темпи зростання сухої речовини. Також важливим є індекс ґрунтових вод, що вказує на стан вологості ґрунту. Цей індекс вказує на настання посухи та підвищення пожежної небезпеки. Таким чином, використовуються одразу кілька показників, що характеризують стан рослинного покриву, в тому числі пожежну небезпеку.

Сумісний аналіз цих даних може бути корисним при знаходженні інтегральних показників, що відображають потенційну пожежну небезпеку території. З цією метою використовуються ряд операцій ГІС-аналізу, які відносяться до модулю Spatial Analyst Arc GIS. Зокрема функції перекласифікації та растрової алгебри.

NDVI - нормалізований відносний індекс рослинності - простий кількісний показник кількості фотосинтетично активної біомаси (зазвичай має назву вегетаційний індекс). Один з найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, що застосовують кількісні оцінки рослинного покриву.

Обчислюється за такою формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

де, NIR - відображення в ближній інфрачервоній області спектра; RED - відображення в червоній області спектра

Відповідно до цієї формули, щільність рослинності (NDVI) в певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла в червоному і інфрачервоному діапазоні, поділеній на суму їх інтенсивностей. Відповідно до цього щільність рослинності (NDVI) в певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивності відбитого світла в червоному і інфрачервоному діапазоні, поділеній на суму їх інтенсивності.

Низькі значення NDVI вказують на поганий стан рослинного покриву, що може бути викликано посухою і відповідно призвести до підвищеної пожежної небезпеки. В даному випадку важливо зберігати відповідний масштаб та роздільну здатність даних, які повинні бути більш узагальненими ніж у випадку звичайного сільськогосподарського моніторингу.

DMP, або продуктивність сухої речовини, представляє загальний темп зростання або сухе збільшення біомаси рослинності, виражене в кілограмах сухої речовини на гектар в день (кг CP/ га / день). DMP безпосередньо пов'язана з NPP (чистою первинною продуктивністю), але її одиниці налаштовані для агростатистичних цілей. В даному випадку високі значення DMP можуть сприяти пожежній небезпеці території.

SWI - індекс ґрунтових вод, який оцінює стан вологи на різних глибинах в ґрунті. Він в основному обумовлений осадженням за допомогою процесу

інфільтрації. Вологість ґрунту є дуже неоднорідною змінною і змінюється на малих масштабах з властивостями ґрунту і зразків дренажу [14]. Супутникові вимірювання інтегруються за відносно великомасштабними областями з наявністю рослинності, що додає складності в інтерпретації. Високі значення індексу знижують пожежну небезпеку, а низькі вказують на ризик підвищення небезпеки природних пожеж.

Всі параметри природних комплексів знімаються з часовим розрізненням 1 раз на 10 днів, тому прогноз пожежної небезпеки повинен перераховуватися також 1 раз на 10 днів.

Загальний процес геоінформаційної обробки даних включає завантаження відповідних індексів з порталу, маскування території з використанням кордону України, нормалізацію значень в діапазоні від 1 до 10 для кожного показнику шляхом перекласифікації, растрове складання отриманих показників. Отримані результати тестуються за допомогою навчальної вибірки пожеж, що вже відбулися (рис. 1).

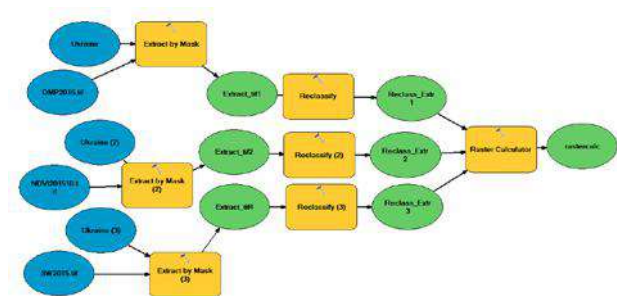


Рис. 1 – Модель обробки тематичних растрів в середовищі Arc GIS

Для тестування моделі були обрані дані на територію України за період першої декади вересня 2015 року. Також були підібрані відповідні дані за індексами NDVI, DMP та SWI. Згідно схеми моделі на рис. 1. спочатку дані були масковані за допомогою полігону території України. Це допомагає обмежити зону аналізу та зменшити час обробки даних.

Модель описується переліком перемінних $F\{R_1, R_2, R_3\}$, де в якості перемінних $R_1 - R_3$ використовуються значення індексів.

Інтегральний індекс:

$$F = \sum_{R_i} R_i \quad (2)$$

де R_x – індексна нормалізована перемінна в діапазоні $R \in [1-10]$.

Тоді для растрової алгебри розрахунок інтегрального індексу буде:

$$F = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{21} \\ R_{1n} & R_{2n} \end{pmatrix}$$

На другому кроці виконання моделі відбувається перекласифікація даних до єдиної розмірності, що дає можливість для оперування в подальшому вже нормалізованими значеннями, які можуть бути сумісно оброблені в межах побудови ієрархічних індексів (рис. 2-5).

На третьому кроці виконання моделі відбувається сумування растрових матриць перекласифікованих значень з метою отримання інтегрального значення.

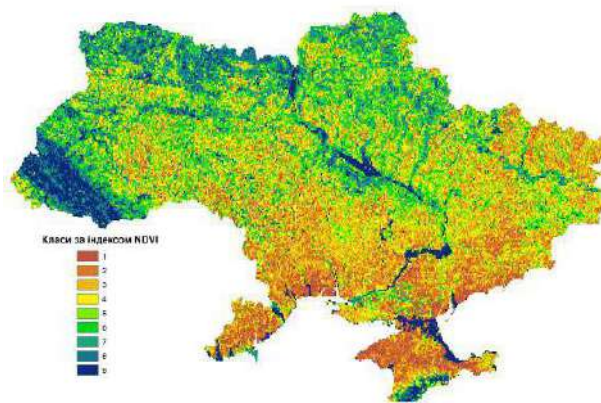


Рис. 2 – Рекласифікація даних індексу NDVI за 9 класами

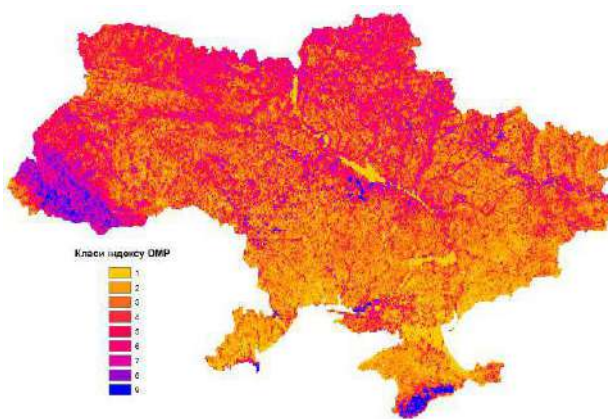


Рис. 3 – Рекласифікація даних індексу DMP за 9 класами

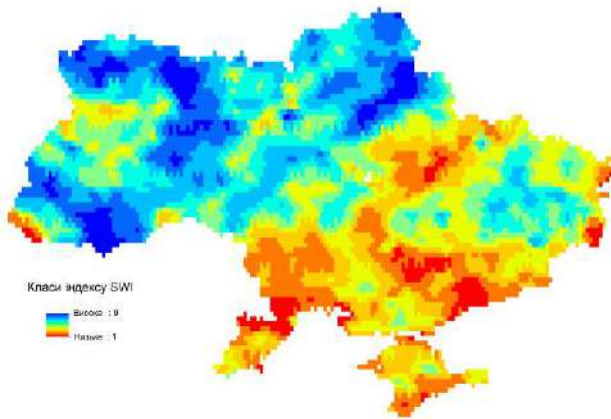


Рис. 4 – Рекласифікація даних індексу SWI за 9 класами

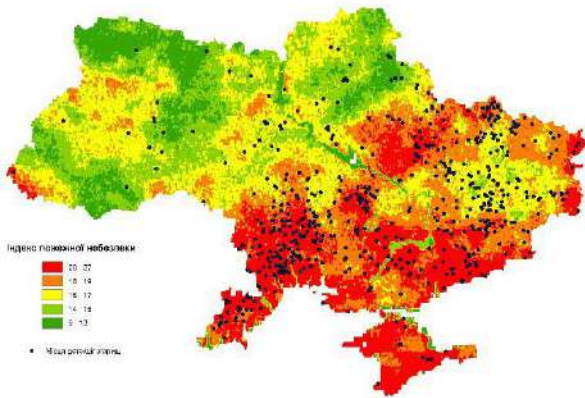


Рис. 5 – Інтегральний індекс пожежної небезпеки у порівнянні з розподілом місць згарищ

З метою перевірки отриманих значень використовується база даних *Burnt Area* з даними про пожежі протягом даної декади. Оскільки дані надаються у растровій формі та мають дискретні значення $N \in [0,1]$, в цьому випадку необхідно спробувати співставити дані візуального аналізу з даними математичної залежності між місцями пожеж та місцями з високими значеннями ризику сезонного виникнення пожеж. Для цього пропонується перейти від дискретних значень до безперервних шляхом визначення щільності точок детекції точок згорілих площ. Для цього спочатку растрові значення з підтвердженням згорілих площ трансформуються у векторний точковий шар із центрами в центрі комірок. Потім з використанням щільності Кернела будується шар безперервного розподілу щільності згарищ. Таким чином, ми можемо встановити зв'язок між просторовими растровими даними, які представлені поверхнею розподілу інтегрального індексу вірогідності настання природної пожежі та поверхнею щільності розподілу випадків пожеж.

Для визначення радіусу (SR) пошуку за замовчуванням використовується формула:

$$SR = 0,9 * \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)} * D_m} \right) \quad (3)$$

де SD – стандартна відстань, D_m – медіанна відстань, n – кількість точок.

Стандартна відстань задається формулою:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (4)$$

де x_i та y_i – координати об'єкту i , $\{\bar{X}, \bar{Y}\}$ представляють усереднений центр для об'єктів та n – загальна кількість об'єктів.

Зважена стандартна відстань розраховується як:

$$SD_{\omega} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \omega_i (x_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n \omega_i} + \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i (y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n \omega_i}} \quad (5)$$

де ω_i – вага об'єкту i та $\{\bar{X}_{\omega}, \bar{Y}_{\omega}\}$ представляє зважений усереднений центр

Оскільки точки згарищ не мають додаткової ваги, яка може бути врахована у формулі, то в цьому випадку використовується формула звичайної стандартної відстані (рис. 6).

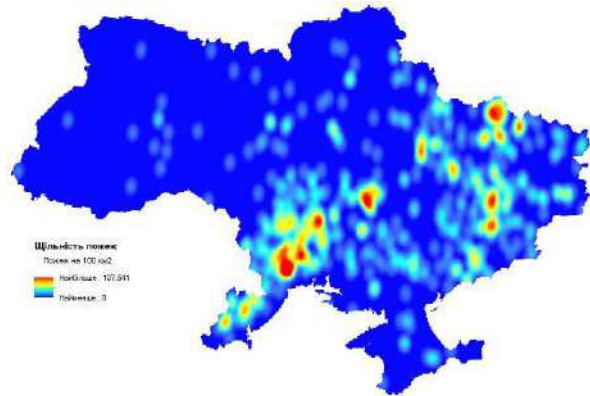


Рис. 6 – Розподіл щільності місць згарищ на дату 10.09.2015

Для встановлення зв'язку використовуються показники просторової кореляції та просторової регресії.

Географічна зважена локальна регресія визначається як:

$$u_i(x_k, y_k) = \beta_{0i}(x_k, y_k) + \beta_{1i}(x_k, y_k) * v_{1i} + \beta_{2i}(x_k, y_k) * v_{2i} + \dots + \beta_{pi}(x_k, y_k) * v_{pi} + \varepsilon_i \quad (6)$$

для спостереження i , де $u_i(x_k, y_k)$ – залежна змінна, що оцінюється в місці i ; v_{pi} – пояснююча перемінна;

$\beta_p(x_k, y_k)$ - локальні коефіцієнти регресії; p кількість перемінних, та ε_i залишок оцінений в місці розташування i . Кожне локальне регресійне $u_i(x_k, y_k)$ рівняння вирішується із різними вагами спостережень, що базуються на функції розпаду з відстанню, що центрована на спостереження i .

Географічно зважений локальний коефіцієнт кореляції Пірсона дозволяє встановити тісноту зв'язку між просторово розподіленими даними. Для цього він розраховується для кожної пари значень двох явищ у місцях їх розміщення за формулою:

$$r_i(x_k, y_k) = \frac{\sum_{j=1}^n \varpi_j * (u_j - \bar{u}) * (v_j - \bar{v})}{(n-1) * S_u * S_v} = \beta_1(x_k, y_k) \frac{S_u}{S_v} \quad (7)$$

де $r_i(x_{ki}, y_{ki})$ - це коефіцієнт кореляції, (x_k, y_k) - це місце спостереження i ; u_i та v_i - це окремі спостереження; \bar{u} та \bar{v} - це середні значення двох перемінних, ϖ_j це вага, яку має кожний вимір в залежності від функції розпаду з відстанню, що центрована на спостереження i ; n - це розмір вибірки; S_u та S_v стандартні відхилення двох перемінних; $\beta_1(x_k, y_k)$ - розрахунковий параметр для двовимірної місцевої регресії спостереження i .

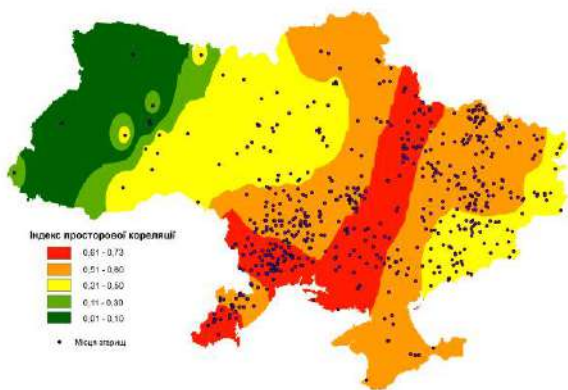


Рис. 7 – Розподіл значень локальної кореляції між значеннями індексу пожежної небезпеки та щільністю згарищ

Для використання методу географічно зваженої регресії та кореляції використовуються перетворення атрибутивних даних з тематичних растрів пожежної небезпеки та щільності розподілу згарищ до точкового векторного шару, що містить атрибутивні ознаки кожного растрового шару. Організація даних у такій моделі дозволяє застосувати алгоритми географічно-зваженої кореляції на мові Python.

В результаті обрахунку локальної кореляції було встановлено співпадіння значних показників кореляції з місцями високої щільності виникнення

природних пожеж (рис. 7). Максимальні значення кореляції досягають значень 0,73 та мають субмеридіанальну спрямованість. На схід та захід від зони найбільшої кореляції зв'язок між даними зменшується. Центральна та східна частина країни мають суттєві значення кореляції більше ніж 0,5. Це свідчить про наявність достатньо тісного зв'язку між розрахунком індексу небезпеки та щільністю пожеж, що підтверджує можливість використання індексу на практиці. В західній та північній частині країни цей зв'язок значно знижується за рахунок значної флуктуації значень щільності та індексу пожежної небезпеки.

Висновки

Європейська програма космічного моніторингу Землі Copernicus джерелом цінної інформації про стан природних комплексів, що може бути використано у аграрній сфері, попередженні надзвичайних ситуацій та природоохоронному моніторингу. Сучасний геоінформаційний інструментарій дозволяє швидко отримувати дані з порталу та обробляти їх на основі визначених алгоритмів. Прогнозування пожежних небезпек в короткочасові періоди спирається на збір та обробку комплексних даних, які отримуються в складі програми, що дозволяє здійснювати превентивні заходи запобігання поширенню природних пожеж та матеріальних збитків. Запропоновано використання індексу пожежної небезпеки, який спирається на індикатори стану земного покриву, що збираються в рамках програми Copernicus. За результатами верифікації індексу встановлено значні значення просторової кореляції між показниками індексу та концентрацією місць пожеж, що вказує на можливість використання індексу для передбачення пожежної ситуації. В областях низьких значень тіснота зв'язку значно зменшується між цими показниками. Це свідчить про можливість використання діапазону високих значень індексу для передбачення природних пожеж з високою вірогідністю та розширює рамки застосування продуктів обробки.

Подальші дослідження будуть спрямовані на пошук оптимізаційних критеріїв моделі для підвищення вірогідності прогнозу.

Список літератури

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2015 рік [Електронний ресурс] / УкрНДЦЗ. - Режим доступу: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini.html>.
2. **Hawbaker, T.** Detection rates of the MODIS active fire product in the United States [Текст] / **T. Hawbaker, V. Radeloff, A. Slyphard, Z. Zhu, S.**

- Stewart** // *Remote Sensing of Environment*. – 2008. – Vol. 112. – P. 2656–2664. – doi: 10.1016/j.rse.2007.12.008.
3. Atlas of natural hazards & risks of Georgia [Електронний ресурс] / Caucasus Environmental NGO Network. – Режим доступу : <http://drm.cenn.org/index.php/en/>.
4. **Ясинський, Ф. Н.** Прогнозування вероятності виникнення лесних пожаров с помощью нейросетового алгоритма на многопроцессорной вычислительной технике [Текст] / **Ф. Н. Ясинський, О. В. Потёмкина, С. Г. Сидоров, А. В. Евсеева** // *Вестник ИГЭУ*. – 2011. – Вып. 2. – С. 1-4.
5. **Oneal, C.** Geographic analysis of natural fire rotation in the California redwood forest during the suppression era [Текст] / **C. Oneal, J. Stuart, S. Steinberg** // *Fire Ecology*. – 2006. – Vol. 2, Iss. 1. – P. 73-99. – doi: 10.4996/fireecology.0201073.
6. **Jovanović, R.** Spatial analysis and mapping of fire risk zones and vulnerability assessment – case study mt .Stara Planina [Текст] / **R. Jovanović, Ž. Bjeljac, O. Miljković, A. Terzić** // *Prevention and Education in Natural Disasters*. – Режим доступу: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0350-599/2013/0350-75991303213J.pdf>. – doi: 10.2298/ijgi1303213j.
7. **Guo, H.** Understanding global natural disasters and the role of earth observation [Текст] / **H. Guo** // *International Journal of Digital earth*. – 2010. – Vol. 3, No 3. – P. 221-230. – doi: 10.1080/17538947.2010.499662.
8. **Cheng, T.** Applications of spatio-temporal data mining and knowledge for forest fire [Текст] / **T. Cheng, J. Wang** // *In. Proceedings of the ISPRS Technical Commission VII Mid Term Symposium, Enschede, The Netherlands*. – 2006. – P. 148-153.
9. **Cortez, P. A** Data Mining Approach to Predict Forest Fires using Meteorological Data [Текст] / **P. Cortez, A. Morais** // *New trends in artificial intelligence: proceedings of the 13th Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA 2007)*. - Lisboa: APPIA. – 2007. – P. 512-523.
10. **Pashynska, N.** A decision tree in a classification of fire hazard factors [Текст] / **N. Pashynska, V. Snytyuk, V. Putrenko, A. Musienko** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 5. - No 10 (83). – P. 32-37. – doi:10.15587/1729-4061.2016.79868.
11. **Özbayoğlu, A.** Estimation of the Burned Area in Forest Fires Using Computational Intelligence Techniques [Текст] / **A. Özbayoğlu** // *Complex Adaptive Systems*. – 2012. – Vol. 12. – P. 282-287. – doi: 10.1016/j.procs.2012.09.070.
12. **Снитюк, В. Е.** Эволюционное моделирование процесса распространения пожара [Текст] / **В. Е. Снитюк, А. А. Быченко** // *Proc. XIII-th Int. Conf. Knowledge – dialogue – Solution - Varna, 2007/6*. – 247-254.
13. Copernicus Global Land Service [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://land.copernicus.eu/global/products/dmp>.
14. **Putrenko, V.** Wildfire prediction and monitoring in Ukraine on base of Copernicus Land service [Текст] / **V. Putrenko, N. Pashynska** // *Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки*. – 2016. – С. 41-43.
- Bibliography (transliterated)**
1. Analytichniy ohliad stanu tekhnohennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini za 2015 rik (2015). UkrNDITsZ. Available at: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoi-ta-prirodnoi-bezpeki-v-Ukrayini.html>.
2. **Hawbaker, T. Radeloff, V., Syphard, A., Zhu, Z., Stewart S.** Detection rates of the MODIS active fire product in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 2008, **112**, 2656–2664. doi: 10.1016/j.rse.2007.12.008.
3. Atlas of natural hazards & risks of Georgia (2013). Caucasus Environmental NGO Network. Available at: <http://drm.cenn.org/index.php/en/>.
4. **Yasynskyy, F.N., Potëmkyina, O.V., Sydorov, S.H., Evseeva, A.V.** Prohnozovanye veroyatnosti voznyknovenyya lesnykh pozharov s pomoshch'yu neyrosetevoho alhorytma na mnohoprotsessornoy vichyslytel'noy tekhnike. *Vestnyk YHÉU*, 2011, Vol. **2**, 1- 4.
5. **Oneal, C. Stuart, J., Steinberg S.** Geographic analysis of natural fire rotation in the California redwood forest during the suppression era. *Fire Ecology*, 2006, Vol. **2**, 1, 73 - 99. doi: 10.4996/fireecology.0201073.
6. **Jovanović, R. Bjeljac, Ž., Miljković, O., Terzić, A.** (2013) Spatial analysis and mapping of fire risk zones and vulnerability assessment – case study mt. Stara Planina. *Prevention and Education in Natural Disasters*. Available at: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0350-7599/2013/0350-75991303213J.pdf>. doi: 10.2298/ijgi1303213j.
7. **Guo, H.** Understanding global natural disasters and the role of earth observation. *International Journal of Digital earth*, 2010, **3**, 3, 221-230. doi: 10.1080/17538947.2010.499662.
8. **Cheng, T., Wang, J.** Applications of spatio-temporal data mining and knowledge for forest fire. *In. Proceedings of the ISPRS Technical Commission VII Mid Term Symposium, Enschede, The Netherlands*, 2006, 148-153.
9. **Cortez, P. Morais, A.** Data Mining Approach to Predict Forest Fires using Meteorological Data. *New trends in artificial intelligence: proceedings of the 13th Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA 2007)*, 2007, 512-523.
10. **Pashynska, N., Snytyuk, V., Putrenko, V., Musienko, A.** A decision tree in a classification of fire hazard factors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, Vol. **5**, 10 (83), 32-37. doi:10.15587/1729-4061.2016.79868
11. **Özbayoğlu, A.** Estimation of the Burned Area in Forest Fires Using Computational Intelligence Techniques. *Complex Adaptive Systems*, 2012, Vol. **12**, 282-287. doi: 10.1016/j.procs.2012.09.070.
12. **Snitjuk, V. E., Bychenko, A. A.** Jevoljucionnoe modelirovanie processa rasprostraneniya požhara, *Proc. XIII-th Int. Conf. Knowledge-dialogue-Solution, Varna, 2007*, 6, 247-254.
13. Copernicus Global Land Service, 2016. Available at: <http://land.copernicus.eu/global/products/dmp>.
14. **Putrenko, V., Pashynska, N.** Wildfire prediction and monitoring in Ukraine on base of Copernicus Land service. *Aerokosmichni sposterезhenja v interesah staloho rozvutku ta bespeky*, Kyiv, 2016, 41-43.

Відомості про авторів (About authors)

Путренко Віктор Валентинович - кандидат географічних наук, старший науковий співробітник, Навчально-науковий комплекс «Інститут прикладного системного аналізу», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», докторант, м. Київ, Україна; e-mail: putrenko@wdc.org.ua.

Viktor Putrenko – PhD, Senior Researcher, Education and scientific complex "Institute for Applied System Analysis", National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", postdoc student, Kyiv, Ukraine; e-mail: putrenko@wdc.org.ua.

Пашинська Наталія Миколаївна – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник, кафедра інтелектуальних та інформаційних систем, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна; e-mail: n_pashynska@ukr.net.

Natalia Pashynska – PhD, Senior Researcher, Department of intellectual and information systems, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine; e-mail: n_pashynska@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Путренко, В. В. Застосування інструментарію геоінформаційного моделювання для інтелектуального аналізу даних пожежної небезпеки / **В. В. Путренко, Н. М. Пашинська** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – 7 (1229). – С. 156-163. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.22.

Please cite this article as:

Putrenko, V., Pashynska, N. Applying tools of geoinformation modeling for fire hazard data mining. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 7 (1229), 156-163, doi:10.20998/2413-4295.2017.07.22.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Путренко В. В. Использование инструментария геоинформационного моделирования для интеллектуального анализа данных пожарной опасности / **В. В. Путренко, Н. М. Пашинская** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 156-163. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.22.

АННОТАЦІЯ *Рассмотрены методологические подходы к использованию индексных показателей состояния вегетации на основе данных дистанционного зондирования программы Copernicus в качестве основы для формирования индекса пожарной опасности на территории Украины. Разработана модель обработки данных глобальных земельных сервисов Copernicus с целью получения значений индекса пожарной опасности. Полученные результаты моделирования были верифицированы с помощью данных о природных пожарах с использованием методов расчета географически взвешенной регрессии и корреляции между геопространственными данными.*

Ключевые слова: *факторы пожарной опасности; дистанционное зондирование Земли; программа Copernicus; геоинформационная модель; стандартное расстояние; пространственная регрессия*

Надійшла(received) 10.03.2017