

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВУЖ ТЕТЯНА ЄВГЕНІВНА

УДК 004.942+616.24

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОСТОРОВО-ХРОНОЛОГІЧНОГО
ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ АРЕАЛІВ АЛЕРГЕННИХ РОСЛИН НА ЛЮДЕЙ
ЗА УМОВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2018

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мокін Віталій Борисович
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри системного аналізу,
комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Поворознюк Анатолій Іванович
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», професор кафедри
обчислювальної техніки та програмування

доктор технічних наук, старший науковий
співробітник

Яцишин Андрій Васильович
Державна установа «Інститут геохімії
навколишнього середовища НАН України»,
провідний науковий співробітник відділу цивільного
захисту та інноваційної діяльності

Захист відбудеться «21» грудня 2018 р. о 12.30 на засіданні спеціалізованої
ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за
адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Вінницького національного
технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе,
95, ГНК.

Автореферат розісланий «___» _____ 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. На стан атмосферного повітря впливає багато факторів, серед яких чільне місце займають стаціонарні у просторі об'єкти природного та антропогенного походження, зокрема ареали алергенних рослин, що своїм пилом забруднюють атмосферу. А забруднене атмосферне повітря негативно впливає на стан здоров'я людей. У світі та в Європі є спеціальні системи спостережень за цими викидами: система моніторингу стану атмосфери, система метеорологічного моніторингу та Європейська аеробіологічна мережа (ЄАМ). В Україні теж є пости моніторингу, які входять до цих європейських і світових мереж. Дані обробляють за допомогою таких глобальних математичних моделей, як SILAM («System for Integrated modelling of Atmospheric composition»), що є провідною у Європі для моделювання розповсюдження пилку. І такими дослідженнями, зокрема аналізом забруднення атмосфери пилом алергенних рослин, займається велика кількість вчених у всьому світі. В Європі провідними у цій сфері є Гельсінський університет, Фінський метеорологічний інститут та інші університети, а провідними фахівцями в цьому напрямку вважається М. Соф'єв, П. Сілямо, Х. Ранта, Т. Лінкосало, А. Расмуссен, А. Рантьо-Летімакі, О. Северова, М. Пранк, В. Родінкова та інші, які розробили модель SILAM, займаються дослідженнями закономірностей за даними аеробіологічного моніторингу, моделюють стан забруднення атмосфери різними чинниками над Європою та консолідуєть усі європейські дослідження у цій сфері. Але поки мережа систем моніторингу в Україні та інших країнах уздовж границь ЄС не стане достатньо щільною з перекриттям зон контролю, вони будуть використовуватись у цих моделях лише як додаткові чи контрольні для перевірки прогностичних функцій моделей. Отже, головною особливістю системи обробки даних аеробіологічного моніторингу в Україні є багато видів невизначеності, що не дозволяє ефективно застосовувати відомі у світі моделі та технології.

Важливим є аналіз не тільки наслідків впливу забрудненого повітря на людей, а й визначення причин появи такого забруднення, що дозволить приймати оптимальні рішення стосовно зменшення чи усунення його впливу.

Моделювання впливу стаціонарних об'єктів на стан атмосферного повітря за даними різних моніторингових мереж здійснюють, як правило, на основі просторово-хронологічних моделей (або просторово-часових, англ. варіант: *spatial-temporal* або *spatiotemporal*), тобто моделей, параметри яких одночасно змінюються і в часі, і у просторі. За відсутності достатнього обсягу достовірних даних такі моделі важко ідентифікувати, але у випадку стаціонарних у просторі ареалів рослин із досить сталими характеристиками це стає можливим.

Тому актуальним є розроблення моделей, методів та інформаційної технології, які забезпечать можливість аналізу просторово-хронологічного впливу ареалів алергенних рослин на стан здоров'я людей за умов невизначеності факторів, що їх враховують ці моделі. Особливо цінним є не тільки розроблення методологічної теоретичної бази, а й розроблення алгоритмів та комп'ютерних програм, які дозволятимуть обробляти вітчизняні дані з європейських моніторингових мереж, дозволять знаходити нові закономірності та робити

ефективне прогнозування впливу забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я людей.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку досліджень за такими науково-дослідними роботами Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) на замовлення Міністерства освіти і науки України, де здобувач була виконавцем: «Інформаційна технологія обробки параметрів просторово-часових моделей даних динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем» (№ держреєстрації 0115U001122, 2015-2016 рр.) та «Інформаційні технології проектування, оптимізації та застосування ГІС-інтегрованих систем баз даних і моделей процесів у складних системах» (№ держреєстрації 0117U000574, 2017 р.).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення точності оцінювання впливу ареалів алергенних рослин на стан здоров'я людей шляхом розроблення методів та інформаційної технології аналізу цього впливу для зменшення невизначеності його складових.

Для досягнення поставленої мети слід розв'язати *такі задачі*

1. Здійснити аналіз існуючих методів моделювання впливу алергенного пилку на стан здоров'я людей, а також підходів до збирання, формалізації та обробки даних про них і просторово-хронологічних моделей подібних процесів.

2. Розробити комплексну інформаційну модель просторово-хронологічного впливу алергенних рослин на стан здоров'я людей, яка враховує і причини, і наслідки такого впливу та класифікувати види невизначеності її складових, яку потрібно зменшити.

3. Розробити комплекс методів для зменшення невизначеності складових комплексної просторово-хронологічної моделі та інформаційної технології аналізу впливу ареалів алергенних рослин на стан здоров'я людей.

4. Розробити структуру запропонованої інформаційної технології у вигляді концептуальних UML-моделей варіантів використання та компонентів для запропонованої інформаційної технології.

5. Створити типове програмно-інформаційне забезпечення для реалізації запропонованих методів і складових інформаційної технології та випробувати його за даними європейських систем моніторингу у реальних польових дослідженнях.

Об'єкт дослідження – процес впливу пилку алергенних рослин на стан здоров'я людей з урахуванням просторових і хронологічних закономірностей.

Предмет дослідження – методи та інформаційна технологія просторово-хронологічного оцінювання впливу ареалів алергенних рослин на стан здоров'я людей за умов невизначеності за даними метеорологічного та аеробіологічного моніторингу.

Методи дослідження містять загальнонаукову методологію проведення досліджень і принципи системного підходу. У дослідженнях використовувались такі методи: під час формалізації просторово-хронологічних інформаційних моделей — методи обробки просторових і хронологічних даних з використанням підходів технічної кібернетики та теорії системного аналізу, зокрема метод «кошиків»; під час інтерполювання часових та просторових даних – методи

чисельного та геостатистичного аналізів; для автоматизації обробки даних – методи обробки даних бібліотек мови програмування R та пакетів програм для роботи з геоінформаційними системами.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у нижченаведеному:

1. Удосконалено просторово-хронологічну інформаційну модель впливу ареалів алергенного пилку на стан здоров'я людей шляхом підвищення комплексності врахування характеристик джерел та об'єктів цього впливу, нормалізовану за типовими правилами для реляційних баз даних, що дозволило формалізувати види невизначеності цих характеристик. Запропоновано використання циліндричної системи координат при формалізації даних, що дозволило оптимізувати цю інформаційну модель.

2. Вперше запропоновано метод просторово-хронологічного оцінювання можливих місць розташування та параметрів стаціонарних у просторі ареалів алергенних рослин за даними лише одного посту аеробіологічного моніторингу за умов невизначеності, який відрізняється від існуючих, по-перше, використанням сплайн-апроксимації типових моделей генерування пилку, що дозволяє обробляти мінімальну кількість (2–3) послідовних вимірів за незмінного напрямку вітру, по-друге, використанням коефіцієнта «деформованості» графіка цих вимірювань для врахування наростання невизначеності даних з плином часу від моменту генерування через змінність напрямку вітру на шляху перенесення пилку від ареалу до поста, по-третє, критерієм відбору найбільш достовірних варіантів можливого розташування ареалів пилку на основі аналізу припасованості сплайн-апроксимації до експериментальних точок, що дозволяє зменшити невизначеність визначення координат і параметрів ареалів.

3. Вперше розроблено інформаційну технологію просторово-хронологічного оцінювання впливу ареалів алергенних рослин на стан здоров'я людей в заданій точці перебування, яка відрізняється від існуючих комплексом методів для зменшення невизначеності складових цього впливу, що дозволяє підвищити точність оцінювання ризику впливу пилку на людину в заданій точці у заданий час, а також точність алергопрогнозів та обґрунтованість прийняття рішень щодо знищення чи зменшення розмірів виявлених ареалів алергенних рослин.

Практичне значення отриманих результатів

1. Створено та успішно випробувано на реальних даних типове програмно-інформаційне забезпечення для реалізації запропонованих методів та інформаційної технології. Адаптовано до періодичності спостережень в Україні та апроксимовано відомі дані типових кривих інтенсивності продукування пилку амброзії протягом доби після сходу сонця, в залежності від відносної вологості повітря. Отримані залежності успішно випробувано для даних на посту ЄАМ у м. Вінниці за 2013-2014 рр. Зокрема, за запропонованим у роботі методом підтверджено відомі та визначено нові можливі ареали розташування амброзії полинолистої у м. Вінниці. Виявлені закономірності будуть цікавими і корисними як для органів влади і фахівців медичної галузі, біологам, екологам, так і для широких верств населення.

2. Запропоновано та охарактеризовано три варіанти ефективного застосування розробленої інформаційної технології: побудова карти забруднення алергенним пилом на задану дату і час, проведення аналізу впливу наявних ареалів алергенних рослин на людей з точки зору вибору пріоритетності знищення цих ареалів за обмежених людських і фінансових ресурсів, пошук людиною оптимального маршруту свого перебування (пересування) на заданий час і дату.

3. Досягнуто підвищення точності моделі. Доведено, що розроблений метод визначення параметрів ареалів алергенних рослин є більш точним, ніж розрахунки за відомою моделлю SILAM за малих швидкостей вітру v : при $v = 1$ м/с – у 22 рази, при $v = 2$ м/с – у 5,5 рази, при $v = 3$ м/с – у 2,5 рази, при $v = 4$ м/с – в 1,4 рази. Відповідно й підвищується точність оцінювання впливу (ризик впливу) ареалів алергенних рослин на людей.

Результати роботи впроваджено в діяльність управління фітосанітарної безпеки Головного управління Держпродспоживслужби у Вінницькій області, що дозволить більш ефективно виконувати Програму боротьби з амброзією полинолистою у Вінницькій області на 2017-2021 роки (затверджена рішенням 21-ої сесії Вінницької обласної Ради 7-го скликання від 30 червня 2017 року № 381) (акт впровадження від 4 квітня 2018 р.); в навчальний процес і наукову діяльність кафедр медичних закладів вищої освіти – (акт впровадження 14 лютого 2018 р.); в навчальний процес зі спеціальності 126 – «Інформаційні системи та технології» (освітня програма «Інформаційні технології аналізу даних та зображень») ВНТУ (акт впровадження від 30 березня 2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі результати, що виносяться на захист, отримані особисто. У роботах [5], [15] здобувачеві належать усі теоретичні та практичні результати. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору дисертаційної роботи належать такі результати: [1], [7], [10]-[12], [18] – систематизовано фактори, які впливають на стан атмосферного повітря та стан здоров'я людей, розроблено та оптимізовано комплексну інформаційну модель, яка їх враховує і пов'язує, запропоновано удосконалений метод «кошиків» для аналізу просторово-хронологічних даних про вплив амброзії; [2] – розроблено вираз для обчислення ризику захворюваності людей з урахуванням різних факторів; [3] – проведено кореляційний аналіз між вмістом пилку амброзії в атмосферному повітрі м. Вінниці та основними метеопказниками; [4], [6] – розроблено математичне та алгоритмічне забезпечення методу просторово-хронологічного оцінювання параметрів стаціонарних у просторі об'єктів за їх сумарним впливом в одній точці; [8], [16] – систематизовано та формалізовано на основі теорії нечіткої логіки ознаки різних видів пилку на їх мікроскопічних зображеннях при побудові системи підтримки прийняття рішень (СППР) для автоматизованої класифікації цих видів; [9], [13] – здійснено картування та проведено просторовий аналіз ареалів алергенних рослин, оцінено їх вплив на стан здоров'я людей та проведено іншу обробку даних за запропонованою інформаційною технологією; [14] – проведено огляд методів інтерполяції та апроксимації даних моніторингу, [17] – проведено огляд та аналіз засобів медичної діагностики для прогнозування індивідуального ризику захворювання під впливом забруднення атмосферного повітря.

Апробація матеріалів дисертації. Основні наукові результати та практичні розробки дисертаційної роботи пройшли апробацію на 12 наукових конференціях: SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98161M (December 18, 2015), 16th Conference On Optical Fibers And Their Applications, 22-25 September 2015, Lublin and Naleczow, Poland; Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017 IEEE First Ukraine Conference on 29 May-2 June 2017, Kyiv; XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях», НАН України, м. Київ, 5-9 жовтня 2015 р.; Міжнародна науково-технічна конференція «Геоінформаційні системи і комп'ютерні технології еколого-економічного моніторингу», ДВНЗ Національний гірничий університет, м Дніпро, 9-11 квітня 2014 р.; XII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2014), Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 14-16 жовтня 2014 року; Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів», Рівненський державний гуманітарний університет, 19-22 лютого 2015 р.; V Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія / Ecology – 2015), Вінниця, 23-26 вересня, 2015 р.; Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління, ХНТУ, Херсон, 11-13 квітня 2016 р.; XLIV-XLVII регіональні науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, ВНТУ, (Вінниця, 2015 р., 2016 р., 2017 р., 2018 р.).

Публікації. Всього за тематикою дисертаційного дослідження опубліковано 18 наукових праць. В тому числі опубліковано 1 статтю у науковому періодичному виданні Польщі з наукометричної бази видань Scopus [3]. Опубліковано 5 статей у фахових журналах України з технічних наук [1], [2], [4]-[6], 7 матеріалів міжнародних наукових конференцій [7]-[11], [13], [18] (зокрема 2 матеріали доповідей на конференціях, які увійшли до збірників, зареєстрованих у міжнародній наукометричній базі Scopus [7], [8]), видано в електронному вигляді монографію [14], матеріали доповіді на всеукраїнській науковій конференції [15], 3 тези доповідей регіональних наукових конференцій [12], [16], [17].

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 214 сторінок, у тому числі: 141 сторінка основного тексту, 47 рисунків, 20 таблиць, список використаних джерел із 132 найменувань, кількість додатків – 13.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, зазначено її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету та напрям досліджень. Визначено основні задачі досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення основних

результатів, а також відомості про їх впровадження, апробацію та публікації.

У першому розділі розглянуто стаціонарно розташовані об'єкти, до яких належать ареали алергенних рослин, що впливають на стан забруднення атмосферного повітря та, через нього, на стан здоров'я людей. Доведено доцільність створення інформаційної технології оцінювання впливу алергенних рослин на стан здоров'я людей на основі того, що кількість захворювань на алергію та бронхіальну астму у світі в цілому та в Україні, зокрема, з кожним роком постійно зростає.

Відзначено, що, за твердженням європейських вчених у провідних наукових виданнях, низька регулярність мережі постів ЄАМ на території України та чимала відстань між ними не дають можливості застосовувати точні математичні моделі SILAM для моделювання процесів поширення пилку амброзії в повітрі.

Встановлено, що доцільно для моделювання інформаційної технології ідентифікації та аналізу просторово-хронологічного впливу стаціонарних у просторі об'єктів використовувати формалізацію даних у вигляді просторово-хронологічних моделей. Охарактеризовано основні поняття просторово-хронологічних даних і моделей. Здійснено аналіз наукових робіт, присвячених просторово-хронологічним моделям впливу стаціонарно розташованих об'єктів на атмосферу і людей, а також підходам до збирання, формалізації та обробки даних про них. Показано, що окремі інформаційні моделі придатні для аналізу тільки причин, а окремі – для аналізу тільки наслідків забрудненого атмосферного повітря. Відзначено, що типові форми для збирання цих даних не відповідають правилам нормалізації реляційних баз даних і потребують відповідної оптимізації.

Розроблено та нормалізовано за правилами для реляційних баз даних комплексну інформаційну модель на прикладі просторово-хронологічного впливу алергенних рослин на здоров'я людей, яка враховує і причини, і наслідки такого впливу для i -го моменту часу:

$$\begin{aligned} W_i = F(D_i, L_i, H_i), \quad D_i = G(E_i, M_i), \quad L_i = [P_i, TP_i], \quad H_i = [B_i, C_i], \\ E_i = [A_i, T A_i, S_i], \quad M_i = [V_i, R_i], \end{aligned} \quad (1)$$

де використані такі позначення множин даних (таблиць баз даних або шарів інформаційної системи) для i -го моменту часу (з періодичністю в 1–2 години, добу, декаду, місяць, рік): W – сила впливу пилку рослин-алергенів на людей; $T A$ – години найбільшого алергенного впливу рослини (від початку до завершення генерування пилку протягом доби, місяця, року тощо, залежно від періоду моделювання); D – місця, куди під дією метеофакторів вітер приносить пилок рослин-алергенів, які визначаються функцією (чи алгоритмом) G ; L – характеристики людей, потенційний вплив на які досліджується, з урахуванням розкладу TP перебування кожного пацієнта із множини P в зоні дії пилку; H – характеристики кожного будинку та місцевості навколо нього; A – ареали розташування рослини (наприклад амброзії) із площею S та іншими параметрами, які утворюють множину E ; M – характеристики метеофакторів, зокрема V – напрямок вітру (дані беруться з найближчого метеопоста); P – інформація про кожного пацієнта у кожному будинку (ця інформація є у лікарнях). Саме цей показник характеризує цільову групу задачі, відносно якої аналізується вплив; B – інформація про кожен будинок, а C – сектори місцевості навколо кожного з них; R

– інші метеофактори, наприклад, наявність опадів на досліджуваній території.

Встановлено, що для складових запропонованої моделі виділено та класифіковано природні й ситуаційні невизначеності, які потрібно розкрити та зменшити.

Невизначеність Н1. Неповна інформація та велика затримка з обробкою даних аеробіологічного моніторингу пилку через ручну обробку мікроскопічних зображень з приладу «Буркард» ЄАМ.

Невизначеність Н2. Не відомі точно координати та інші параметри (в першу чергу, площа та інтенсивність) ареалів алергенних рослин.

Невизначеність Н3. Неточні метеодані у місцях розташування постів ЄАМ через їх віддаленість від стаціонарних метеопостів.

Невизначеність Н4. Відсутність точної просторово-хронологічної інформації про пересування пацієнтів протягом доби.

Невизначеність Н5. Місце D , куди під дією метеорологічних факторів вітер приносить пилок рослин-алергенів – природно-ситуаційна невизначеність, оскільки це обумовлено, як дією природних факторів, так і забудовою місцевості, та іншими особливостями, на що може впливати антропогенна діяльність; для розкриття природної складової цієї невизначеності слід спочатку ідентифікувати місця розташування ареалів для розкриття невизначеності Н2, побудувати регресійну модель прогнозування інтенсивності продукування пилку, залежно від метеофакторів за попередній період, і згодом, знаючи дані метеопрогнозу, здійснювати прогнозування місць D та значень AP , які потім, у свою чергу, можуть використовуватись в моделі для уточнення параметрів E та S в наступний момент часу ($i+1$):

$$AP_{i+1} = F_3(E_i, M_{i+1}). \quad (2)$$

У другому розділі розроблено методи зменшення невизначеності, що виникають при ідентифікації запропонованої комплексної просторово-хронологічної інформаційної моделі.

1. Розроблено підхід до проектування системи підтримки прийняття рішень з класифікації видів алергенного пилку на основі нечітких експертних даних про їх ознаки на мікроскопічних зображеннях для зменшення невизначеності Н1. Спроектвана СППР дозволяє пришвидшити цю класифікацію за різних просторово-хронологічних особливостей даних моніторингу пилку. Під час класифікування пилку запропоновано враховувати параметри симетрії, форми та розміру, апертуру (пори, арки, борозни), місце розташування, товщину, орнамент та стратифікацію стінки пилку (шипи, арки, повітряні мішки тощо) (рис. 1).

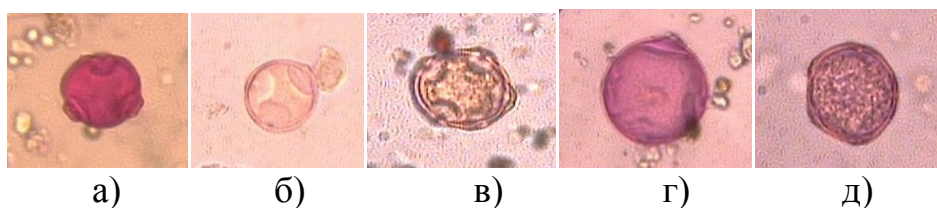


Рисунок 1 – Приклади мікроскопічних зображень пилку (м. Вінниця):

а) Береза (*Betula*) ; б) Ліщина (*Corylus*); в) Вільха (*Alnus*);
г) Граб (*Carpinus*); д) В'яз (*Ulmus*)

Для формалізації алгоритму класифікації пилкового зерна введемо такі позначення: $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор, що описує ознаки об’єкта пилкового зерна; $D = (d_1, d_2, \dots, d_m)$ – вектор міток класів рослин, які виділяють алергенний пилок; n – кількість ознак пилкового зерна ($n = 11$); m – кількість класів рослин ($m = 5$). Існує невідома цільова залежність – відображення $d^*: X \rightarrow D$ – значення якого відомі на об’єктах кінцевої навчальної вибірки

$$V = (X^i, d^i), i = \overline{1, r}, \quad (3)$$

де r – розмір навчальної вибірки.

Необхідно побудувати алгоритм $\alpha: X \rightarrow D$, який здатний класифікувати довільний об’єкт пилкового зерна. Для розв’язання задачі класифікації здійснюємо лінгвістичну апроксимацію відображення $d^*: X \rightarrow D$ нечіткою базою знань з використанням відомих методів і підходів.

2. Розроблено метод просторово-хронологічного оцінювання параметрів ареалів амброзії за даними лише одного поста ЄАМ для зменшення невизначеності Н2. Адаптовано для умов України відомі дані типових кривих інтенсивності продукування пилку амброзії протягом доби після сходу сонця, залежно від відносної вологості повітря шляхом переходу від 1-годинного до 2-годинного інтервалу, що відповідає кроку спостережень саме в Україні.

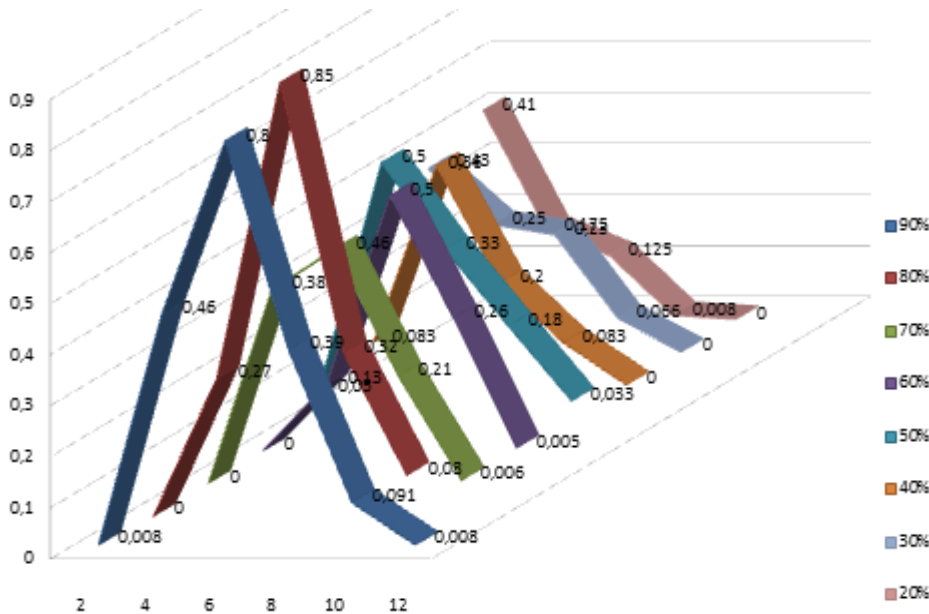


Рисунок 2 – Інтерпольовані значення типових кривих кількості пилку амброзії полинолистої в повітрі P зі значеннями через 2 години, залежно від різних значень вологості RH від 20% до 90%, побудованих за відомими кривими зі значеннями через 1 годину

Проведено аналіз можливих підходів до аналітичного опису цих кривих. Встановлено, що для ідентифікації складних аналітичних функцій не вистачає даних (кількість ненульових значень дорівнює від 3 до 6), а апроксимація квазідзвінницевою функцією, функцією Гаусса, логістичними, тригонометричними і поліноміальними функціями з мінімальною кількістю параметрів не дає необхідної точності та монотонності. Тому було запропоновано використовувати

сплайн-апроксимацію першого (прямими) та другого (параболами) порядків. Значення цих кривих y_i , $i = 1, 2, \dots, 6$ було запропоновано використовувати як «маску», яку слід «прикладати» до кожного реального графіка значень експериментальних даних щодо вмісту пилку p_i і лише припасовувати її за висотою, яка визначається піковим (протягом доби) значенням:

$$p_i = I y_i, i = \overline{1, N}, \quad (4)$$

де I – це інтенсивність впливового об'єкта.

Для формалізації задачі пропонується використовувати систему координат, подану на рис. 3.

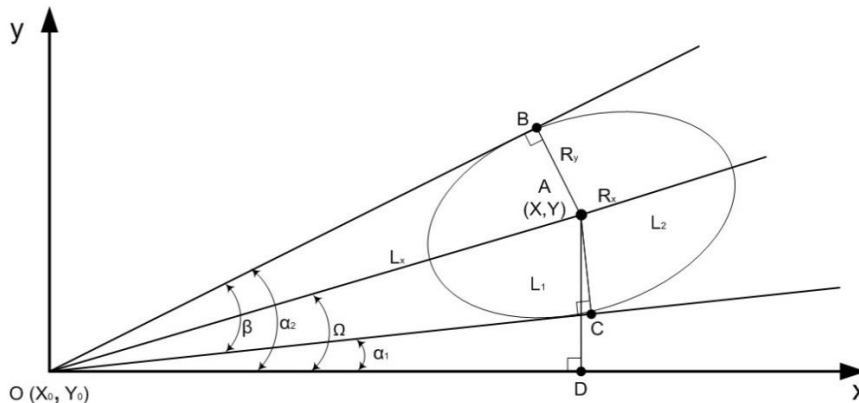


Рисунок 3 – Система координат та формалізація у ній просторових параметрів ареалу рослин

Необхідно оцінити такі параметри кожного ареалу у вигляді еліпса (рис. 3): координати центра еліпса (X, Y) ; радіус R_x уздовж бісектриси сектора $[\alpha_1, \alpha_2]$; радіус R_y , уздовж осі, перпендикулярної до бісектриси в межах кута $\beta = \alpha_2 - \alpha_1$; кут нахилу еліпсу Ω відносно осі OX (кут нахилу бісектриси); площу еліпсу S ; інтенсивність ареалу I .

Розв'язання поставленої задачі пропонується здійснювати у нижчеописані етапи.

Етап 1. Підготовчий етап. Апроксимація типових кривих з рис. 2 сплайнами першого $y_1(x)$ і другого $y_2(x)$ порядків.

Важливо відмітити, що потрібно, щоб ділянки між точками експериментальної кривої мали той самий нахил, що й ділянки на рис. 2. За зсувом типової кривої уздовж осі абсцис пропонуємо визначати відстань до ареалу, оскільки саме більша відстань дає більше запізнення надходження пилку до поста ЄАМ, а за зсувом по осі ординат – визначати інтенсивність ареалу, оскільки саме більша інтенсивність дає більші значення вмісту пилку у повітрі. Звичайно, такий підхід, особливо, з використанням сплайнів першого порядку і припасовуванням одній за однією тільки парою точок може давати багато хибних збігів. Тому потрібний критерій відбору найбільш достовірних варіантів можливого розташування ареалів пилку. Для цього пропонується використати кількість та значущість кривих з рис. 2. Для цього, по-перше, визначаємо внесок кожної кривої з рис. 2, описаної відповідним сплайном, в охоплення всієї площі під кривою (рис. 4). Наприклад, для сплайну типу $y_1(x)$ внесок i -ої прямої виду $y = kx + b$, що з'єднує

точки з координатами (x_i, a_i) та (x_{i-1}, a_{i-1}) ($i = 2, 3, \dots, N_I = 5$), її внесок дорівнює:

$$w_i = \frac{\int_{a_{i-1}}^a (kx+b)dx}{\sum_{i=1}^5 \int_{a_{i-1}}^{a_i} (kx+b)dx}, \int_{a_{i-1}}^a (kx+b) = \frac{(a_1-a_2)(2b+a_1k+a_2k)}{2}. \quad (5)$$

Аналогічно визначаються внески двох послідовно з'єднаних параболічних сплайнів.

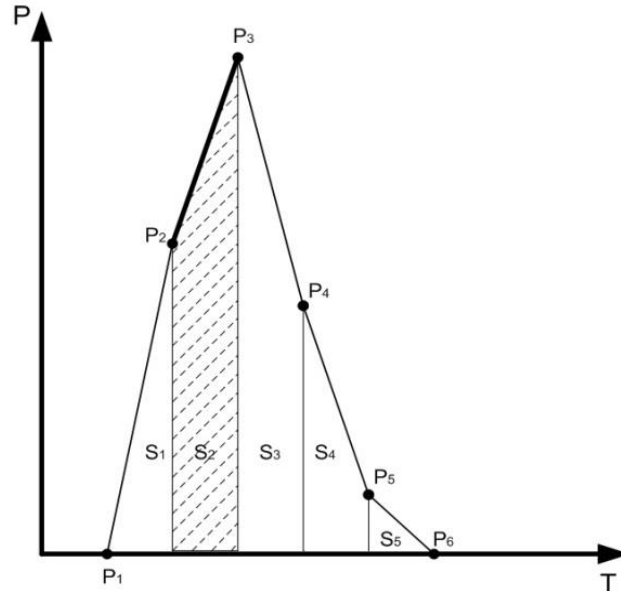


Рисунок 4 – Відображення процесу визначення достовірності, яку забезпечує другий сплайн першого порядку для ділянки $[P_1, P_2]$, у разі, якщо експериментальна крива припасовується до нього в межах заданої похибки

По-друге, під час апроксимування наборів експериментальних даних у кожному секторі за одну добу аналізується скільки M сплайнів вдається припасувати до цих наборів, а тоді пропонується достовірність D опису обчислювати як суму ваг відповідних припасованих сплайнів:

$$D = \sum_{j=1}^M w_j. \quad (6)$$

Тобто, чим більша кількість сплайнів припасована, тим більш достовірною є апроксимація. Якщо усі сплайни припасувались, тоді $D = 1$.

Аналіз пропонується робити таким чином.

1. В циклі перебирати усі можливі набори послідовно розташованих експериментальних точок з кожного сектора за кожен добу за відповідної відносної вологості, до яких можна припасувати кожен із видів сплайнів шляхом варіювання можливого запізнення τ , тобто часу, за який пилок долітає з віддалених ареалів, до кривої з рис. 2.

2. У разі збігу даних обчислювати параметри та достовірність кожного можливого ареалу і зберігати їх у таблиці.

3. Після завершення пошуку усіх варіантів проводити аналіз їх достовірності. Пропонується ігнорувати варіанти, достовірність яких була меншою 0,45; тобто такі, які припасовані тільки за однією кривою, або відобразити їх усі, але менш достовірні – кольором малої інтенсивності.

4. Перейти від полярних до декартових координат і побудувати на графіку еліпси з визначеними параметрами, колір яких пропорційний рівню

достовірності в одній кольоровій гамі.

5. Найбільш ймовірні ареали знаходяться на перетині найбільшої кількості еліпсів з найбільшою достовірністю.

Безпосередньо припасовування експериментальних даних до кривих з рис. 3 пропонується здійснювати описаним нижче чином.

Перш за все, варто враховувати той факт, що вітер може змінювати напрям, поки пилок долетить від місця продукування до поста ЄАМ і, в результаті, пролетить більшу відстань, аніж по прямій. І така похибка накопичується: чим у пізніший час доби пилок зафіксований, тим більшою є така похибка. Якщо відсутні трасування по траєкторіях вітру кожного об'єму повітря між найближчими метеопостами, тоді, у першому наближенні, пропонується враховувати такі зміни певною сталою h , назовемо її коефіцієнтом «деформованості» графіка через зміни напрямку вітру, яку слід домножати на час доби, за який проводиться аналіз експериментальних даних. Тобто, допустимими значеннями для аналізу нахилів за рис. 3 є не тільки $y(x_i - \tau)$ типової кривої з рис. 2, а й значення $y(x_i - \tau \pm hx_i)$.

З рис. 5 видно, що вся множина нахилів кривих, яка є допустимою між усіма точками відрізків $x_1 \pm h_1$ та $x_2 \pm h_2$, розташована між діагоналями BC та AD , включно з ними.

Водночас, пряма BE матиме той самий нахил, що й AD , тобто уся множина допустимих нахилів розташована в межах трикутника BCE і для нахилів його сторін BC та AD , як нескладно показати, є такий досить простий опис:

$$k_1 = \frac{dy}{dh+dx+2h_1}, k_2 = -\frac{dy}{dh-dx+2h_1}, dx = x_2 - x_1, dy = y_2 - y_1, dh = h_2 - h_1. (7)$$

На практиці слід обчислити k_1 та k_2 . Потім визначити яке значення з них є мінімальним, а яке – максимальним, а тоді множина допустимих нахилів k для пар точок експериментальних даних буде задаватись такою множиною значень в межах похибки ε :

$$k = [k_{min} - \varepsilon, k_{max} + \varepsilon], k_{min} = \min(k_1, k_2), k_{max} = \max(k_1, k_2). (8)$$

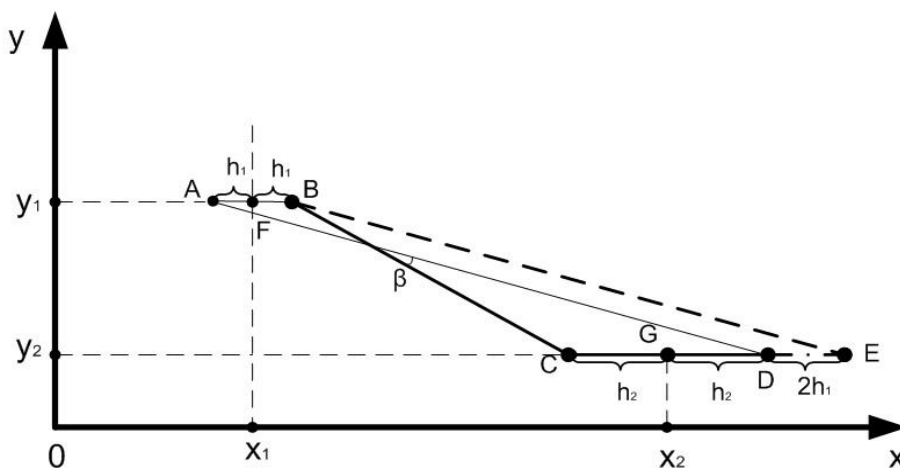


Рисунок 5 – Геометрична інтерпретація процесу визначення допустимої множини значень для нахилу за сплайну першого порядку між парою точок експериментальних даних, що з'єднує дві точки $x_1 \pm h_1$ та $x_2 \pm h_2$ із запізненням $\tau = 0$, з урахуванням деформованості графіка через зміну напрямку вітру, шляхом

врахування коефіцієнтів h_1 та h_2 , відповідно

Визначення параметрів починаємо з оцінювання відстані до центра еліпса уздовж усередненої осі напрямку вітру, тобто довжини L_x (у кілометрах) відрізка OA :

$$L_x = \gamma v(\tau+1), \quad (9)$$

де γ – безрозмірний коефіцієнт перенесення пилку, який враховує наскільки швидкість поширення пилку у повітрі є меншою від середньої швидкості вітру, який визначається шляхом порівняння координат декількох точно відомих ареалів амброзії та їх оцінок цим методом; v – середня швидкість вітру, км/год; τ – запізнення, год.

Як видно з (9), центр ареалу враховує відстань, з якої надійшов пилко з швидкістю v із запізненням τ . Вираз $(\tau+1)$ має за мету врахувати обмеження методу щодо визначення координат до центра ареалу, розташованого безпосередньо на території навколо місця розташування вимірювального приладу ЄАМ, який дає мінімальне (нульове) запізнення $\tau = 0$. У той же час, в Україні запізнення τ не може бути визначене точніше, ніж $\tau = 2$ години. Отже, за умови $\tau = 0$ формула має давати координати γv .

Розмірами ареалу уздовж бісектриси сектора, тобто радіусом R_x , пропонуємо враховувати невизначеність динаміки перенесення пилку, яка містить в собі невизначеність щодо зміни напрямку вітру (оцінюється максимальною додатковою деформованістю, яка оцінюється добутком $(h+1)$ на час $(\tau+1)$, що відповідає тривалості польоту пилку з центра ареалу), невизначеність щодо швидкості вітру (оцінюється різницею між максимальною швидкістю v_{max} вітру з усіх точок спостережень набору значень, що аналізуються, та середньою швидкістю v , якій за якою обчислюється відстань L_x) і невизначеність динаміки перенесення пилку (оцінюється коефіцієнтом γ):

$$R_x = \gamma(v_{max} - v + v_0)(h + 1)(\tau + 1), \quad (10)$$

де v_0 – швидкість вітру, яка буде задавати мінімальний радіус еліпсу на графіку для випадку, коли швидкість вітру не зазнавала змін і вираз $(v_{max} - v)=0$.

Решта геометричних параметрів обчислюється за відстанню L_x та кутами α_1 , α_2 і β з використанням відомих геометричних співвідношень, згідно з рис. 3:

$$R_y = \left| L_x \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \right| = \left| L_x \sin\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}\right) \right|, \quad \Omega = \alpha_1 + \beta = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}, \quad (11)$$

$$Y = Y_0 + L_x \sin(\Omega), \quad X = X_0 + L_x \cos(\Omega), \quad S = \pi R_x R_y. \quad (12)$$

Останній з параметрів – інтенсивність I – визначається як середнє арифметичне з чисел, які є результатом ділення усіх M експериментальних даних y_i на значення типових кривих графіка (в даному випадку кривих першого порядку – y_1), у відповідні i -ті моменти часу, з урахуванням запізнення τ :

$$I = \frac{\sum_{i=1}^M \left| \frac{y_i(x_i)}{y_1(x_i - \tau)} \right|}{M}. \quad (13)$$

Для автоматизації розрахунку за цим методом мовою програмування R розроблена комп'ютерна програма PRA Finder, яка була успішно випробувана на реальних даних і на яку отримано свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір (комп'ютерну програму) № 78845 від 05.05.2018 р.

Запропоновано підхід до уточнення переліку метеопараметрів у місцях

розташування постів моніторингу ЄАМ для зменшення невизначеності НЗ, який був успішно випробуваний за реальними даними, зібраними у/чи біля м. Вінниці. Обґрунтовано та оптимізовано список показників, які потрібно додатково вимірювати з використанням інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) у комплексі з пристроєм Burkard, що дозволить підвищити точність аналізу вмісту пилку алергенних рослин в атмосферному повітрі міст.

Розроблено метод вибірки даних про фактори навколишнього середовища для аналізу ризику їх впливу на стан здоров'я населення на основі просторово-хронологічної моделі даних для зменшення невизначеності Н4.

Удосконалено метод «кошиків» (basket-метод) для комплексного оцінювання впливу просторово-розподілених шкідливих факторів на стан здоров'я людей на основі просторово-хронологічної інформаційної моделі. У цьому методі здійснюється просторова формалізація (прив'язка) усіх факторів по секторах навколо будинків, де можуть знаходитись люди протягом доби, та узагальнюються параметри цих факторів по певних періодах кожної доби.

Удосконалено метод вибірки даних на основі просторово-хронологічної моделі, завдяки її формалізації у циліндричних системах координатах для зменшення невизначеності Н5 та оптимізації за обсягом запропонованої інформаційної моделі (рис. 6).

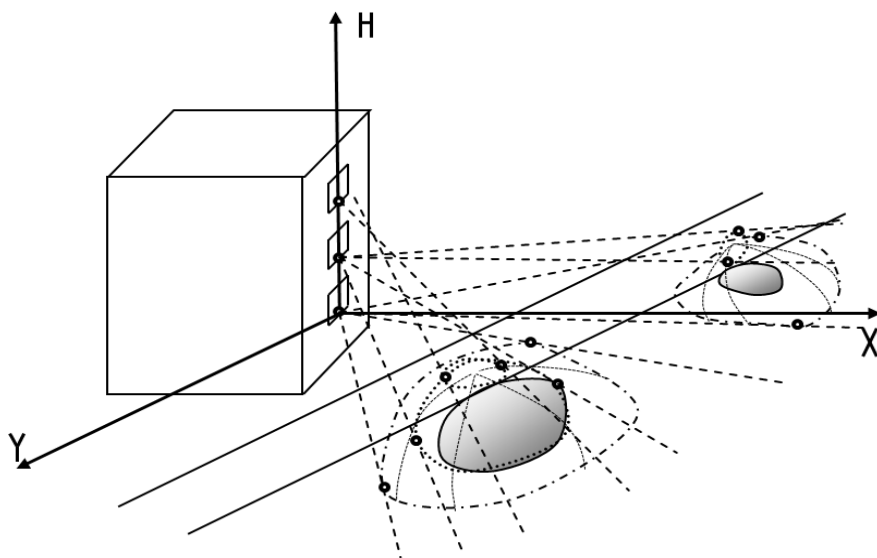


Рисунок 6 – Приклад схеми розташування ареалів амброзії з їх умовними зонами розсіювання пилку як по ширині, так і по висоті, відносно різних поверхів будинку

Для розв'язання поставленої задачі, як і вище, застосовуємо метод «кошиків» у три етапи. На першому етапі визначаємо збіг дії просторово-розподілених шкідливих природних факторів продукування пилку та вітру. На другому етапі визначаємо для яких саме пацієнтів дійсно мав місце вплив цих просторово-розподілених шкідливих факторів за відповідних метеоумов. На третьому етапі – здійснюємо співставлення поверху, на якому мешкають вищевизначені пацієнти, з відстанню, на якій знаходяться виявлені ареали амброзії, та силою вітру (табл. 1).

Таблиця 1 – Визначення збігу перебування пацієнтів P_1 та P_2 у секторах, де є і пилок, і вітер у бік пацієнтів у характерні періоди часу

Дата	Збіг характеристик періодів часу для пацієнтів		Сектор, де перебували пацієнти у відповідний період часу		Наявність впливу W факторів на здоров'я пацієнтів	
	P_1	P_2	P_1	P_2	P_1	P_2
01.09.2015	T_{v4}	-	C_{17}	-	1	0
02.09.2015	-	T_{v4}	C_{27}	C_{27}	0	1
03.09.2015	$T_{v4}T_{v5}T_{v6}T_{v7}$	$T_{v4}T_{v5}T_{v6}T_{v7}$	C_{35}	C_{35}	1	1

Запропоновано новий вираз для обчислення індивідуального ризику R_j ($j = 1, \dots, m_j$) захворюваності людини внаслідок впливу рослин-алергенів на основі запропонованої комплексної просторово-хронологічної інформаційної моделі:

$$R_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{ij} \frac{S(G_{ij})}{C(G_{ij})} k_{vij}, \quad (14)$$

де $S(G_{ij})$ — площа розповсюдження карантинного організму у секторі G_{ij} , га; $C(G_{ij})$ — площа сектора га; Z_{ij} — збіг в i -ту дату для j -го пацієнта (дорівнює 0 або 1); n — кількість дат, для яких виявлено збіг умов для j -ої людини у зоні дії природних факторів; k_{vij} — коефіцієнт, який характеризує силу вітру в i -й момент часу відносно місця розташування j -ої людини (дату, годину чи ін.), де $j = 1, 2, \dots, m$.

У третьому розділі розроблена структура інформаційної технології аналізу просторово-хронологічного впливу алергенних рослин на стан здоров'я людей за умов невизначеності.

Для того, щоб визначити взаємодію між зовнішніми учасниками та користувачами розробленої інформаційної технології (або інформаційної системи, яка її автоматизує), побудована UML-модель варіантів використання.

Розроблено структуру запропонованої інформаційної технології у вигляді концептуальної UML-моделі компонентів, що дозволило візуалізувати поділ цієї технології на структурні компоненти і підсистеми, а також зв'язки між ними (рис. 7).

Також був створена та формалізована узагальнена схема роботи інформаційної технології, що дає змогу поділити роботу технології на певні етапи і конкретизувати кроки та взаємозв'язки між ними.

Було проведено порівняння точності запропонованої технології із технологією SILAM та визначення обмежень на її застосування. Для цього було розділено розмір мінімальної комірки моделі SILAM (100 км^2) на розмір комірок (секторів) запропонованої моделі: за $v = 1 \text{ м/с}$ точність підвищується у 22 рази ($100 \text{ км}^2 / 4,52 \text{ км}^2$), за $v = 2 \text{ м/с}$ — у 5,5 рази, за $v = 3 \text{ м/с}$ — у 2,5 рази, за $v = 4 \text{ м/с}$ — в 1,4 рази. Відповідно й підвищується точність оцінювання впливу (ризик впливу) ареалів алергенних рослин на людей.

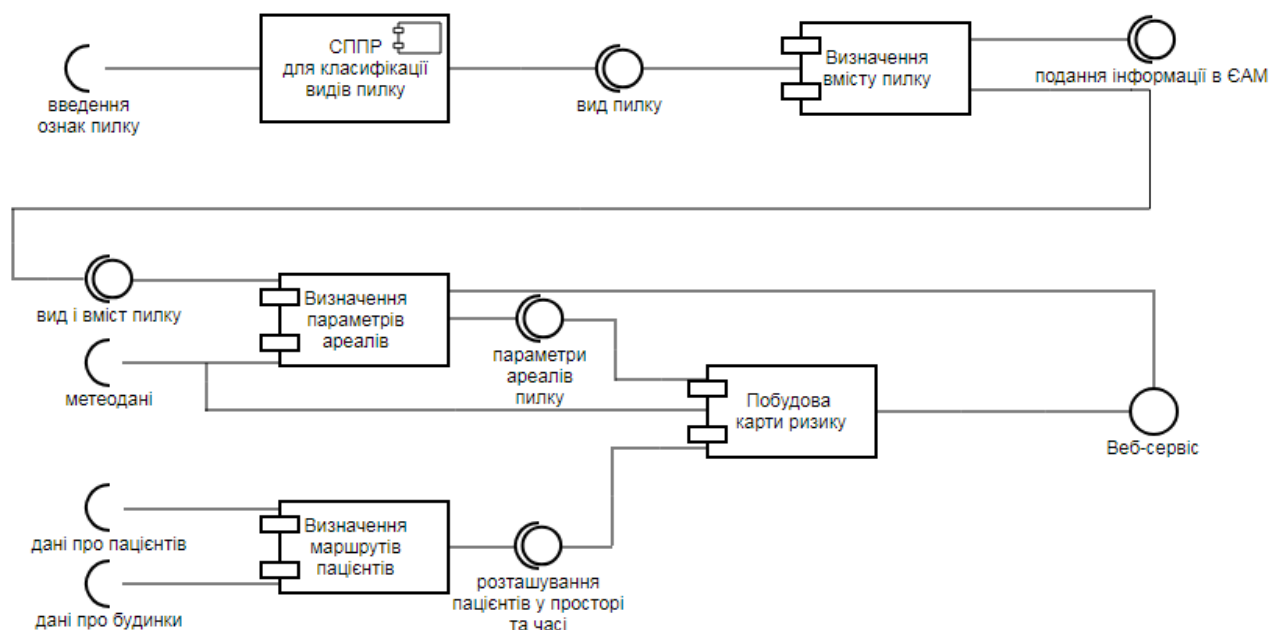


Рисунок 7 – UML-модель компонентів розробленої інформаційної технології

За швидкості вітру $v > 4,7$ м/с модель SILAM стає більш ефективною і це очікувано, оскільки за $v = 4,7$ м/с за добу пилок долає відстань $L = 406$ км, що відповідає середній відстані між постами Європейської аеробіологічної мережі в Україні (Львів, Одеса, Вінниця, Київ, Запоріжжя) та постами сусідніх країн. За цих умов, в даній задачі зникають основні види невизначеності і модель SILAM може забезпечувати достатню точність розрахунків та достовірність результатів моделювання.

Отже, інформаційна технологія, яка розроблена у дисертаційному дослідженні, буде ефективною тільки за малих швидкостей вітру (1-4 м/с). Показано на реальних даних з ЄАМ на прикладі посту у м. Вінниця за 2014 р., що така швидкість вітру часто мала місце якраз під час активної палінації алергенних рослин, наприклад амброзії.

Розроблено рекомендації щодо застосування створеної інформаційної технології. Наведений алгоритм першого варіанту використання розрахунку ризику впливу алергенного пилку.

У **четвертому розділі** описано апробацію розробленої інформаційної технології.

Наведено приклад застосування розробленої системи підтримки прийняття рішень з класифікації 5 видів алергенного пилку за реальними даними, отриманими на посту ЄАМ у м. Вінниця. Випробування створеної системи дало результати прийнятної точності.

Наведено приклад роботи методу просторово-хронологічного оцінювання параметрів ареалів амброзії за даними лише одного посту ЄАМ. Працездатність методу підтверджена на реальних даних – були підтверджені відомі та виявлені нові можливі ареали (рис. 8). Запропонований метод доцільно застосовувати тільки за умови, що швидкість вітру не перевищує 4 м/с (при більших швидкостях вітру

коефіцієнт деформованості графіка буде неефективним), а вологість повітря знаходиться в межах від 16% до 94% (оскільки типові криві на рис. 2 відомі тільки для випадків від 20% до 90%).

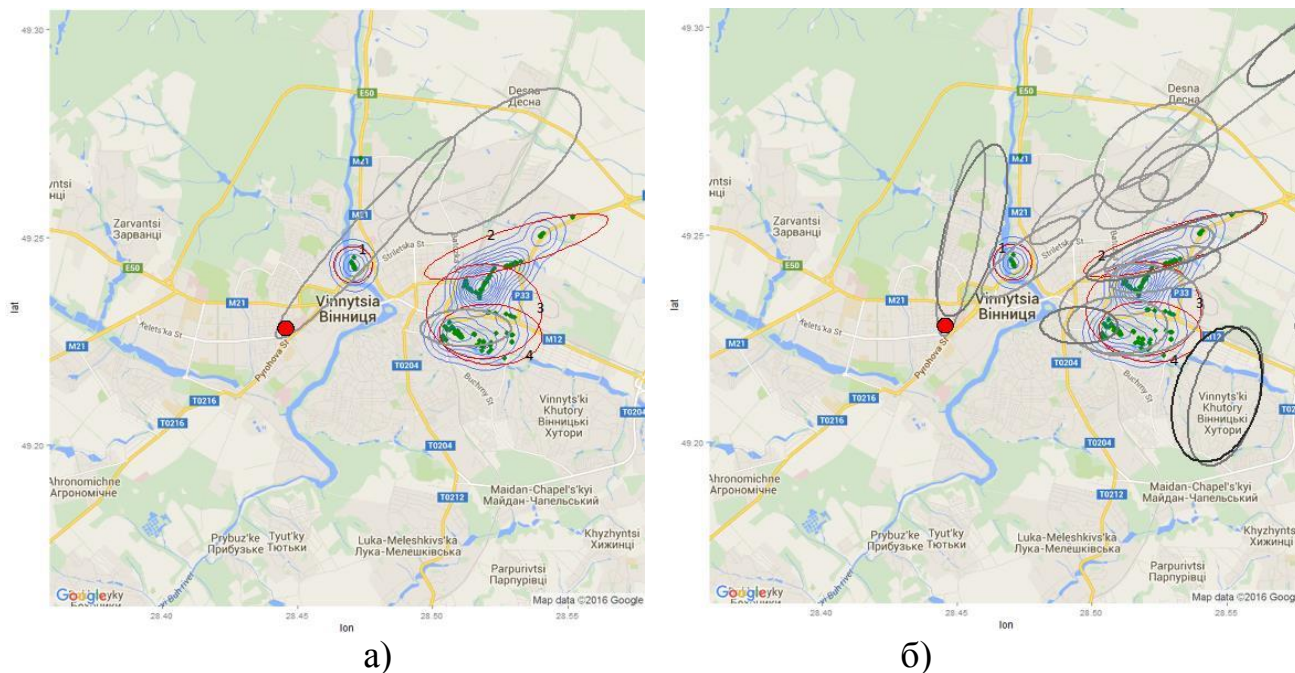


Рисунок 8 – Результат порівняння місць розташування ареалів амброзії у м. Вінниця, визначених шляхом польових досліджень 2014 року (тонкі лінії) та оцінених запропонованим методом з використанням для апроксимації типових сплайнів першого порядку (товсті чорні лінії) для напрямків вітру з сектора [0-120] з точністю $\varepsilon = 0,01$ за даними: а) 2014 року; б) 2013 року

Проведений аналіз засобів медичного експрес-діагностування алергічних захворювань, які можна використовувати для усунення невизначеності H4. Аналіз показав, що зазначені пристрої недосконалі. По-перше, в них використовуються непрямі методи контролю, що не дає стовідсоткового результату. А по-друге, відсутні надійні моделі та методи обробки такої інформації.

Охарактеризовано результати розробки бази даних та ГІС «Астматик» для апробування результатів застосування розроблених моделей та методів.

Одним із головних результатів розробленої інформаційної технології є карта ризиків захворювання (значення ризику обчислюється за виразом (14)). Наведено алгоритм дій, які необхідно виконати, для отримання цієї карти.

Для перевірки достовірності отриманого результату на практиці із нанесених на карту м. Вінниці адрес були відібрані ті адреси, що знаходяться в досліджувальній зоні по вул. М. Шимка. За цими адресами проживають пацієнти, які, за даними лікарень м. Вінниці та Вінницької області, звернулись до лікаря із загостреннями алергічних реакцій та бронхіальної астми в період з кінця серпня і до середини вересня 2014 р.

Були побудовані карти ризиків для дати 8.09.2014 р. (понеділок) станом на 12.00 (напрямок вітру – північний 360° , сила вітру – 2 м/с, вміст амброзії в повітрі – 6,17 п.з./м³, тобто значний) (рис. 9, а) та для – 16.09.2014 р. (вівторок) о 24.00

(напрямок вітру – північно-західний 310^0 , сила вітру – 2 м/с, вміст амброзії в повітрі (рис. 9, б) – $12,35 \text{ п.з./м}^3$, тобто високий).

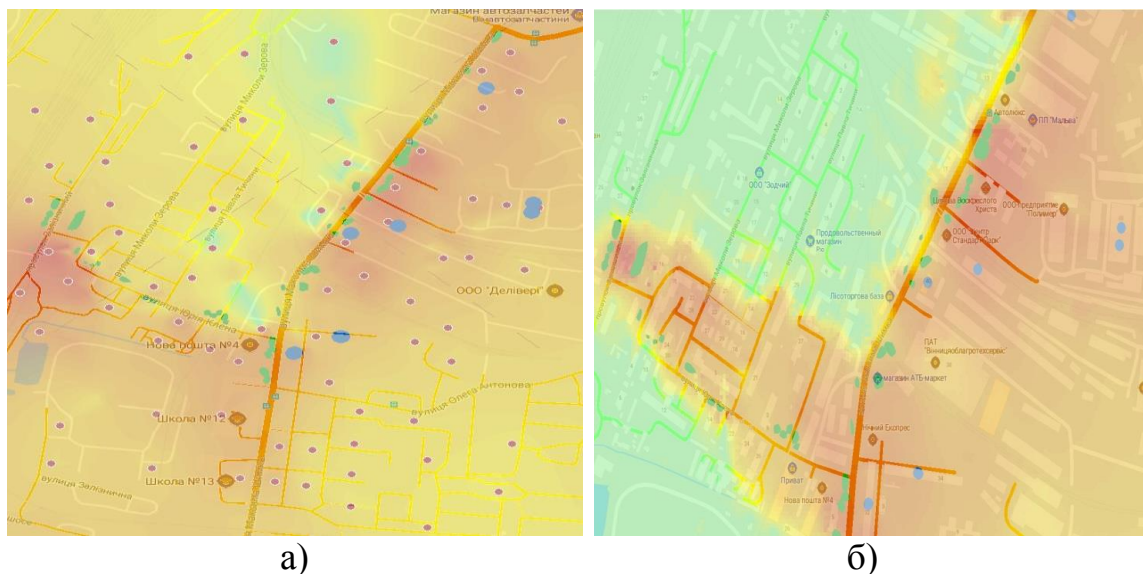


Рисунок 9 – Карти обчислених ризиків R за 8.09.2014 р., 12.00 (а) та за 16.09.2014 р., 24.00 (б) по секторах C для множин будинків B (маленькі червоні кола), з ареалами A (зелені полігони) та виявлені за даними лікарень пацієнти (великі сині кола)

Як видно з рис. 9, а), в зону підвищеного ризику попадають школи, де діти перебувають у цей час доби, а також велика кількість будинків, де мешкають інші потенційні пацієнти. Як видно з рис. 9, б), пацієнти, які звернулись до лікаря, проживають в будинках, розташованих на території, де були визначені одні з найбільших значень ризику захворювання. Якраз у час (24 години), пацієнти знаходяться в них, і підпадають під вплив алергенного пилку.

У додатках наведено результат аналізу науково-дослідних проектів у світі з тематики дисертації, вихідні дані для апробування розроблених моделей та документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи, список опублікованих праць за темою дисертації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу розроблення інформаційної технології просторово-хронологічного оцінювання впливу ареалів алергенних рослин на людей за умов невизначеності. В результаті виконання дослідження отримано нижченаведені основні наукові і практичні результати.

1. На основі аналізу існуючих методів моделювання впливу алергенного пилку на стан здоров'я людей за наявними в Україні даними аеробіологічного моніторингу обґрунтована розробка інформаційної технології просторово-хронологічного оцінювання цього впливу за умов невизначеності, що дозволило сформулювати мету роботи і задачі дослідження.

2. Показано яким чином можна формалізувати дані лікарень щодо алергійних захворювань та дані біологів про алергенні рослини, з урахуванням типових підходів до нормалізації баз даних. В результаті було побудовано типову комплексну інформаційну модель просторово-хронологічного впливу алергенних рослин на стан здоров'я людей, яка враховує і причини, і наслідки такого впливу. Відзначено які види невизначеності мають місце під час ідентифікації такої моделі в Україні.

3. Розроблено комплекс методів для зменшення невизначеності складових запропонованої комплексної інформаційної просторово-хронологічної моделі для аналізу впливу алергенного пилку на стан здоров'я людей:

- досліджено мікроскопічні зображення алергенного пилку, що дозволило виявити 11 типових ознак для найбільш поширених в Україні його видів, за якими їх можна розрізнити, що дозволило побудувати систему підтримки прийняття рішень з класифікації видів алергенного пилку на основі нечітких експертних даних про їх ознаки на мікроскопічних зображеннях – система показала ефективні результати під час випробування за реальними даними;

- запропоновано метод просторово-хронологічного оцінювання можливих місць розташування та інших параметрів ареалів амброзії за даними лише одного посту ЄАМ, який, по-перше, використовує сплайн-апроксимацію типових моделей генерування забруднення повітря, що дозволяє обробляти мінімальну кількість послідовних 2–3 вимірів на цьому посту за незмінного напрямку вітру; по-друге, використовує змінний в часі коефіцієнт «деформованості» графіка цих вимірювань для врахування наростання невизначеності даних з плином часу від моменту генерування, через змінність напрямку вітру на шляху перенесення забруднень від місця генерування до поста, по-третє, критерієм оцінювання достовірності апроксимації на основі врахування ваг припасованих сплайнів, які обчислюються як питомий внесок кожного сплайну в опис площі під усією типовою кривою, – все це дозволяє визначати координати та параметри стаціонарних у просторі ареалів алергенних рослин з найбільшою достовірністю;

- адаптовано до України та апроксимовано для двогодинних інтервалів відомі дані типових кривих інтенсивності продукування пилку амброзії протягом доби, залежно від відносної вологості повітря;

- запропоновано підхід до уточнення переліку метеопараметрів у місцях розташування постів моніторингу ЄАМ в Україні;

- зазначено, що для аналізу ризику впливу алергенного пилку на стан здоров'я населення на основі просторово-хронологічної моделі даних можна використовувати відомий метод «кошиків» («basket-метод») – удосконалено цей метод для задачі комплексного оцінювання такого впливу шляхом просторової формалізації усіх факторів по секторах навколо будинків, де можуть знаходитись люди протягом доби, та узагальнення значень показників цих факторів за характерні періоди протягом кожної доби; показано як можна оптимізувати інформаційну модель, використану у цьому методі, завдяки переходу до циліндричної системи координат;

- запропоновано вираз для обчислення індивідуального ризику захворюваності людини від впливу рослин-алергенів на основі запропонованої

комплексної просторово-хронологічної інформаційної моделі; відзначено, що є три варіанти його ефективного застосування: побудова карти забруднення алергенним пилом на задану дату і час; проведення аналізу впливу наявних ареалів алергенних рослин на людей з точки зору вибору пріоритетності знищення цих ареалів за обмежених людських і фінансових ресурсів; пошук людиною оптимального маршруту свого перебування на заданий час і дату.

4. Розроблено структуру запропонованої інформаційної технології, описану у вигляді концептуальних UML-моделей варіантів використання та компонентів. Охарактеризовано види необхідних вхідних даних і розроблено узагальнену схему їх оброблення та рекомендації щодо практичного застосування.

5. Створено типове програмно-інформаційне забезпечення для реалізації запропонованих методів та інформаційної технології. Його випробування за даними європейських систем моніторингу та реальних польових досліджень довело його працездатність і дозволило виявити нові закономірності, цікаві органам влади, вченим і здобувачам вищої освіти та широкій громадськості. Доведено, що розроблена інформаційна технологія є ефективною й дозволяє підвищити точність оцінювання впливу ареалів алергенних рослин на стан здоров'я людей тільки за малих швидкостей вітру 1–4 м/с, при більших швидкостях варто застосовувати модель SILAM чи ін. Охарактеризовано впровадження результатів дисертаційної роботи у ряді державних установ, що підтверджується відповідними актами.

Розроблену інформаційну технологію можна, за певного адаптування, застосовувати і для інших стаціонарних у просторі об'єктів техногенного чи природного характеру.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

[1]. Т. Є. Вуж та В. Б. Мокін, «Оцінювання впливу просторово-розподілених шкідливих факторів на стан здоров'я населення на основі просторово-хронологічної моделі даних», *Міжнародний науково-технічний журнал «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології»*, №2 (28), с. 71–80, 2014.

[2]. Т. Є. Вуж та В. Б. Мокін, «Аналіз ризику впливу алергенних рослин на здоров'я дітей чи дорослих у населених пунктах на основі просторово-хронологічної моделі даних», *Фаховий збірник «Екологічна безпека та природокористування»*, № 16, с. 54–59, 2014.

[3]. T. Y. Vuzh, V. B. Mokin, V. V. Rodinkova, W. Wojcik and S. Salaybek, «The improvement of the monitoring system on the basis of Burkard to raise the analysis accuracy for the allergic pollen found in the atmospheric air of the city» *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 5/2015, pp. 86–91, 2015 (*журнал входить до наукометричної бази Scopus*).

[4]. Т. Є. Вуж та В. Б. Мокін, «Метод просторово-часового оцінювання параметрів стаціонарних у просторі об'єктів по їх сумарному впливу в одній точці», *Фахове видання «Проблеми інформаційних технологій»*, № 2 (022), с. 142–151, 2017.

[5]. Т. Є. Вуж «Інформаційна технологія аналізу просторово-хронологічного впливу на стан атмосферного повітря стаціонарних у просторі об'єктів за умов невизначеності», *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки.*, № 1 2018, с. 105–114, 2018.

[6]. Т. Є. Вуж та В. Б. Мокін, «Метод просторово-хронологічного оцінювання параметрів ареалів амброзії за даними одного посту Європейської системи аеробіологічного моніторингу», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №1, 2018, с. 126–135, 2018.

[7]. Т. Y. Vuzh, V. B. Mokin, W. Wojcik and B. Imanbek, «Control and minimization of allergenic plants impact on bronchial asthma morbidity, based on spatial-temporal data model», *SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98161M (December 18, 2015) 16TH CONFERENCE ON OPTICAL FIBERS AND THEIR APPLICATIONS*, Lublin and Naleczow, Poland, 22–25 September 2015. ISSN: 0277-786X. — doi: 10.1117/12.2229083. — Режим доступу: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=2478653>. (входить до наукометричної бази Scopus)

[8]. Т. Y. Vuzh, V. B. Mokin, O. M. Kozachko, V. V. Rodinkova and O. O. Palamarchuk, «The decision support system for the classification of allergenic pollen types based on fuzzy expert data of pollen features on the microscope images» *Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017 IEEE First Ukraine Conference, Kyiv, 29 May–2 June 2017*, pp. 850–856. INSPEC Accession Number: 17353707. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100368. (входить до наукометричної бази Scopus)

[9]. Т. Є. Вуж та В. Б. Мокін, «Виявлення та аналіз закономірностей щодо можливих причин захворюваності дитячого населення Вінницької області на бронхіальну астму за допомогою інформаційних технологій», *Міжнародна науково-технічна конференція «Геоінформаційні системи і комп'ютерні технології еколого-економічного моніторингу»*, ДВНЗ Національний гірничий університет, м Дніпропетровськ, 9 – 11 квітня 2014 р., с. 99–104.

[10]. Т. Є. Вуж та В. Б. Мокін, «Контроль та мінімізація впливу алергенних рослин на стан захворюваності населення на бронхіальну астму на основі просторово-хронологічної моделі», *XII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2014)*, Вінниця, 14–16 жовтня 2014 року, с. 205.

[11]. Т. Є. Вуж та В. Б. Мокін, «Новий підхід до просторово-хронологічної формалізації впливу факторів на просторові об'єкти», *Міжнародна наукова конференції «Сучасні проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів»*, Рівне, 19–22 лютого 2015 р., с. 53–54.

[12]. Т. Є. Вуж та В. А. Цимбалюк «Метод побудови оптимальної просторово-хронологічної інформаційної моделі формалізації впливу алергенних рослин на захворюваність людей», *XLIV Регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області*, Вінниця, 11–13 березня 2015 [Електронний ресурс] Доступно: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineek/txt/tsimbalyuk.pdf>.

[13]. Т. Є. Вуж, В. Б. Мокін, В. В. Родінкова та В. А. Цимбалюк «Виявлення зон і періодів часу підвищеної небезпеки захворюваності дітей м. Вінниця бронхіальною астмою внаслідок впливу осередків амброзії за певних умов», *V Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю*, Вінниця, 23–26 вересня 2015 р., с. 107.

[14]. А. Я. Кулик, Т. Є. Вуж та Б. Ф. Коваль, *Експеримент в медицині. Комп'ютерні системи та інформаційні технології*, Монографія, Вінниця: ВНМУ, 2018. – 145 с.

[15]. Т. Є. Вуж, «Технологія пошуку шляхів зниження захворюваності населення міста на бронхіальну астму на основі просторово-хронологічної моделі», *IV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління*, Херсон, 11–13 квітня 2016 р., с. 32–36.

[16]. Т. Є. Вуж, В. Б. Мокін та О. М. Козачко, «Аналіз методів автоматичної класифікації видів пилку за мікроскопічними зображеннями в системі аеробіологічного моніторингу», *XLVI Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області*, Вінниця, 22–24 березня 2017 р. – [Електронний ресурс] Доступно: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/17451/3182.pdf?sequence=3>

[17]. Т. Є. Вуж, В. Б. Мокін та Т. Г. Ревіна, «Аналіз засобів медичної діагностики для прогнозування індивідуального ризику захворювання під впливом забруднення атмосферного повітря», *XLVII Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області*, Вінниця, 22–24 березня 2018 р. [Електронний ресурс] Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2018/paper/view/5292/4341>

[18]. Т. Є. Вуж та В. Б. Мокін, «Побудова геоінформаційні моделі природних шкідливих факторів, які впливають на стан здоров'я людей, на основі просторово-хронологічної моделі даних у циліндричній системі координат», *XIV Міжнародна науково-практична конференція: Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*, Київ, 5–9 жовтня 2015 р, с. 121–125.

АНОТАЦІЯ

Вуж Т. Є. Інформаційна технологія просторово-хронологічного оцінювання впливу ареалів алергенних рослин на людей за умов невизначеності – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 „Інформаційні технології”. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2018.

Робота присвячена розробленню інформаційної технології просторово-

хронологічного оцінювання впливу ареалів алергенних рослин на людей за умов невизначеності. Удосконалено просторово-хронологічну інформаційну модель впливу ареалів алергенного пилку на стан здоров'я людей шляхом підвищення комплексності врахування характеристик джерел та об'єктів цього впливу, нормалізовану за типовими правилами для реляційних баз даних, що дозволило формалізувати види невизначеності цих характеристик. Запропоновано використання циліндричної системи координат при формалізації даних, що дозволило оптимізувати цю інформаційну модель.

Вперше розроблено інформаційну технологію просторово-хронологічного оцінювання впливу ареалів алергенних рослин на стан здоров'я людей в заданій точці перебування з комплексом нових методів для зменшення невизначеності складових цього впливу, що дозволяє підвищити точність оцінювання ризику впливу пилку на людину, точність алергопрогнозів та обґрунтованість прийняття рішень щодо знищення чи зменшення розмірів виявлених ареалів алергенних рослин.

Створено типове програмно-інформаційне забезпечення для реалізації запропонованих методів й інформаційної технології та випробувано за реальними даними Європейських систем метеорологічного й аеробіологічного моніторингу та польових досліджень.

Ключові слова: інформаційна технологія, інформаційна модель, просторово-хронологічне оцінювання, ареал алергенних рослин, Європейська система аеробіологічного моніторингу, невизначеність.

АННОТАЦІЯ

Вуж Т. Е. Информационная технология пространственно-хронологической оценки влияния ареалов аллергенных растений на людей в условиях неопределенности – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 „Информационные технологии”. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2018.

Работа посвящена разработке информационной технологии пространственно-хронологической оценки влияния ареалов аллергенных растений на людей в условиях неопределённости.

Усовершенствована пространственно-хронологическая информационная модель влияния ареалов аллергенной пыльцы на состояние здоровья людей путём повышения комплексности учета характеристик источников и объектов этого влияния, нормализованного по типовым правилам для реляционных баз данных, что позволило формализовать виды неопределённости этих характеристик. Предложено использование цилиндрической системы координат при формализации данных, позволившее оптимизировать эту информационную модель.

Впервые разработана информационная технология пространственно-хронологической оценки влияния ареалов аллергенных растений на состояние здоровья людей в заданной точке пребывания с комплексом новых методов для

уменьшения неопределённости составляющих этого воздействия, позволяющая повысить точность оценки риска воздействия пыльцы на человека, точность аллергопрогнозов и обоснованность принятия решений по уничтожению или уменьшению размеров выявленных ареалов аллергенных растений.

Создано типовое программно-информационное обеспечение для реализации предложенных методов и информационной технологии и испытано на реальных данных Европейской системы метеорологического и аэриобиологического мониторинга и реальных полевых исследований.

Ключевые слова: информационная технология, информационная модель, пространственно-хронологическое оценивание, ареал аллергенных растений, Европейская система аэриобиологического мониторинга, неопределенность.

ABSTRACT

Vuzh T. Y. Information technology of spatio-temporal estimation of influence of areas of allergenic plants on people in conditions of uncertainty – Qualification research work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.13.06 „Information technologies”. – Vinnitsya National Technical University, Vinnitsya, 2018.

The purpose of the dissertation research is to increase the accuracy of the assessment of the impact of the range of allergenic plants on the health of people through the development of methods and information technology for the analysis of this effect to reduce the uncertainty of its components.

The scientific novelty of the completed dissertation research is defined:

1. The spatial-temporal information model of the influence of allergenic pollen areas on the health of people was improved by increasing the complexity of taking into account the characteristics of the sources and objects of this influence, normalized according to the standard rules for relational databases, which allowed to formalize the types of uncertainty of these characteristics. The use of cylindrical coordinate system during data formalization has been proposed, which allowed to optimize this information model.

2. For the first time a method of spatial-temporal estimation of possible locations and parameters of stationary in the space of allergenic areas is proposed based on the data of only one aerobic monitoring post under uncertainty conditions, which differs from the existing, first, using spline approximation of typical pollen generation models, which allows to process a minimum number of (2–3) consecutive measurements in a constant wind direction, and secondly, using the «deformability» coefficient of the schedule of these measurements for the calculation the growth of the uncertainty of the data over time from the moment of generation, due to the variability of the direction of the wind in the way of transferring the pollen from the range to the post, and thirdly, the criterion for selecting the most reliable options for the possible location of pollen ranges based on the analysis of the placement of spline approximation to the experimental points, which allows reduce the uncertainty of the determination of the coordinates and the parameters of the ranges.

3. For the first time the information technology of spatial-temporal estimation of

influence of areas of allergenic plants on the state of health of people at a given point of stay, which differs from the existing complex of methods for reducing the uncertainty of components of this influence, has been developed, which allows to increase the accuracy of the assessment of the risk of pollutant exposure to a person in a given the point at a given time, as well as the accuracy of allergy predictions and the validity of making decisions to destroy or reduce the size of the identified areas of allergenic plants.

The practical value of the results of the work is as follows:

1. A typical software and information support for the realization of the proposed methods and information technology has been created and successfully tested on real data. Adapted to the frequency of observations in Ukraine and approximated the data of typical curves of the intensity of pollen production of ambergris during the day after sunrise, depending on the relative humidity of air. The obtained dependencies have been successfully tested for data on the post of the EAM in Vinnytsia for 2013-2014. In particular, the proposed method has confirmed the known and identified new possible areas for the location of ragweed in the city of Vinnytsia. The revealed patterns will be interesting and useful both for authorities and specialists in the medical industry, biologists, ecologists, and for the general population.

2. Three variants of effective application of the developed information technology are proposed and characterized: construction of a map of pollution by allergenic pollen for a given date and time, analysis of the influence of existing habitats of allergenic plants on people from the point of view of the priority of destroying these habitats for limited human and financial resources, human searches the optimal route of they stay at a given time and date.

3. Improved model accuracy. It is proved that the developed method of determining the parameters of the range of allergenic plants is more accurate than the calculations according to the well-known model of SILAM at low wind velocities v : at $v = 1 \text{ m / s}$ – 22 times, at $v = 2 \text{ m / s}$ – at 5,5 times, at $v = 3 \text{ m / s}$ – 2,5 times, at $v = 4 \text{ m / s}$ – 1,4 times.

The results of the work have been implemented into the work of the Department of Phytosanitary Safety of the Main Department of the State Committee for Procurement of Consumer Goods in Vinnitsa Oblast, which will allow to more effectively implement the Ragweed Program in the Vinnytsia Region for 2017-2021 (approved by decision of the 21st session of the Vinnytsia Regional Council of the 7th convocation dated June 30, 2017, No. 381) (implementation act dated April 4, 2018); in the educational process and scientific activity of the departments of medical institutions of higher education - (the act of introduction February 14, 2018); in the educational process of specialty 126 - «Information systems and technologies» (educational program «Information technology for data and image analysis») VNTU (the act of implementation March 30, 2018).

Key words: information technology, information model, spatial-temporal estimation, areal of allergenic plants, European system of aerobic monitoring, uncertainty.

Підписано до друку 14.11.2018 р. Замовл. № 696
Формат 60x90 1/16 ум. Друк. арк. 0,9 друк офсетний.
Наклад 100 примірників

Вінниця. Друкарня ВНМУ ім. М.І. Пирогова, Пирогова, 56.

