

504(447.86) (043)  
к 82

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

**КРИХІВСЬКИЙ МИХАЙЛО ВАСИЛЬОВИЧ**

**К**

УДК 504.064.2

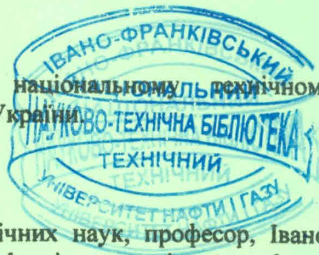
**ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МІСТ ЗА  
РЕЗУЛЬТАТАМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА  
(НА ПРИКЛАДІ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА)**

**Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Івано-Франківськ – 2014**

Дисертацією є рукопис.  
Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України



**Науковий керівник:**

**Адаменко Ярослав Олегович** – доктор технічних наук, професор, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри екології.

**Офіційні опоненти:**

**Мальований Мирослав Степанович** – доктор технічних наук, професор, Національний університет “Львівська політехніка”, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування, м. Львів.

**Наследнікова Майя Анатоліївна** – кандидат технічних наук, Науково-дослідний і проектний інститут ПАТ “Укрнафта”, начальник відділу екології в східному регіоні, м. Полтава.

Захист відбудеться « 13 » листопада 2014 р. об 11<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий « 08 » жовтня 2014 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05,

доктор геологічних наук, доцент

В.Р. Хомин



**Актуальність теми.** Україна нині наближається до нової демографічної кризи. Останніми роками в Україні зростають відносні й абсолютні показники смертності населення. Рівень народжуваності має сталу тенденцію до зниження, а в ряді регіонів він навіть не забезпечує простого відтворення населення. Всі ці негативні тенденції призвели до погіршення показників природного приросту населення. Якщо не призупинити це, то дефіцит і якість продуктів харчування, води, повітря, а також генетична обтяженість значно прискорять дегенерацію популяції, її поступове вимирання. Найбільш екологічно напруженими територіями з точки зору умов проживання людей є міста, тому актуальними є дослідження з питань екологічної безпеки саме жителів міста.

На сучасному етапі розвитку науки екосистема як основна структурна одиниця біосфери є єдиною функціонально взаємопов'язаною сукупністю живих організмів й умов місць їх проживання, іншими словами, збалансованим співіснуванням біоти й абіоти. Цим пояснюються взаємини, взаємозалежності, причинно-наслідкові зв'язки, що виникають у природі, їх об'єднання у функціональне ціле.

Урбоекосистеми змінюються швидкими темпами. Тому необхідним є не тільки проведення моніторингових досліджень забруднення компонентів навколишнього середовища, а й їх системний аналіз і прогнозування стану екологічної безпеки. Осільки екологічні дослідження супроводжуються великим об'ємом різнотипної інформації, актуальною є розробка чисельних показників рівня екологічної безпеки, інформаційних аналітичних комп'ютерних систем обробки екологічних даних для ефективного контролю за змінами довкілля.

У дисертаційній роботі вирішується актуальне науково-практичне завдання чисельного оцінювання, прогнозування показників рівня екологічної безпеки й автоматизації прогнозування стану екосистем у людському вимірі.

**Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності та в рамках Державної цільової екологічної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища, яка затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 5 грудня 2007 року за № 1376, та програми охорони навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області до 2015 року, яка затверджена рішенням Івано-Франківської обласної ради від 10.06.2011 за № 161-6/2011, та є науково-практичною в напрямку технічного переоснащення та вдосконалення нормативно-методичного забезпечення системи моніторингу й узгодження елементів інформаційних технологій, що використовуються суб'єктами системи моніторингу.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи: дослідити зв'язок між концентраціями мікроелементів у ґрунтах і здоров'ям населення, обґрунтувати методологію та розробити показники рівня екологічної безпеки й інформаційну аналітичну систему. Відповідно до поставленої мети визначені наступні завдання:

- проаналізувати стан забруднення ґрунтів і захворюваність населення в місті Івано-Франківську та методи для розробки шкали чисельного виміру шкоди здоров'ю населення міста в залежності від концентрацій мікроелементів у ґрунтах;

- провести аналітичні дослідження зв'язку між концентраціями окремих мікроелементів у ґрунтах і захворюваністю людей та встановити їх зв'язки;
- розробити показники рівня екологічної безпеки для кількісної оцінки та прогнозування стану урбоекосистеми в ракурсі здоров'я населення;
- розробити інформаційну аналітичну систему екологічних служб для автоматизованого визначення небезпек і ризиків для здоров'я людей.

**Об'єкт дослідження:** процес взаємозв'язку між техногенною безпекою й її соціальною складовою.

**Предмет дослідження:** урбоекосистема Івано-Франківська – обласного центру, який характеризується техногенним впливом, зумовленим забрудненням промисловими підприємствами, щільною забудовою, інтенсивним транспортним навантаженням.

**Методи дослідження.** Теоретико-методологічну основу дисертації склали сучасні методи аналізу й синтезу, принципи системного підходу до вивчення природно-антропогенних екосистем, математична статистика, теорія нечітких множин, теорії екологічної безпеки, урбоекології.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна одержаних результатів полягає у підвищенні рівня екологічної безпеки населення при забрудненні навколишнього середовища шкідливими концентраціями мікроелементів на основі комплексних теоретичних, практичних і експериментальних досліджень на базі зібраних фактичних даних, зокрема:

1. Дістала подальший розвиток методологія оцінювання рівня екологічної безпеки від забруднень навколишнього середовища мікроелементами.

2. Встановлено статистичну залежність між концентраціями мікроелементів у ґрунтах і захворюваністю та смертністю населення, знайдено функціональні залежності, що адекватно моделюють ці зв'язки на основі створеної математичної моделі.

3. Удосконалено методологію визначення показників рівня екологічної безпеки територій і критерії їх чисельного оцінювання.

4. Вперше створено інформаційну аналітичну систему екологічних служб для прогнозування захворюваності в залежності від екологічних чинників.

**Практичне значення одержаних результатів.** Створено інформаційну аналітичну комп'ютерну систему для екологічних служб і комплексну галузеву методику «Прогнозування показників екологічної безпеки міст за результатами моніторингу ґрунтів», які впроваджено в державну екологічну інспекцію в Івано-Франківській області.

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні та практичні результати, винесені на захист, отримані автором особисто. Вони опубліковані без співавторів: розроблено екологічно-медичні індекси екологічної безпеки міста, що базуються на 30 знайдених математичних моделях [3]; інформаційну аналітичну систему для автоматизації роботи екологічних служб міста [10].

У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належить аналіз і розробка алгоритмів чисельного оцінювання стану оточуючого середовища [7,8,11]; методика дослідження впливу забруднення ґрунтів на стан навколишнього середовища [4,6]; аналіз, розробка алгоритмів статистичного обґрунтування картографічного

представлення стану екосистем [2,8,11]; аналіз, розробка алгоритмів сучасного оцінювання екологічної ситуації стану екосистем і безпеки життєдіяльності населення [1]; автором запропонована математична модель інформаційної аналітичної системи та два методи нормування прийняття рішень [9]; автором виявлено 30 залежностей впливу забруднення ґрунтів на здоров'я людей [4]; автором запропонована методологія визначення показників рівня екологічної безпеки території [5].

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи доповідались на міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу», яка відбулася 15-18 травня 2012 р.; 1-й Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека та збалансоване природокористування», що проходила в Івано-Франківську 20-22 вересня 2012 року, та Всеукраїнській науково-практичній конференції аспірантів, молодих вчених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», що відбулася 8-11 жовтня 2013 року в Івано-Франківську.

**Публікації.** Зміст дисертаційної роботи опубліковано: у чотирьох фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженому Департаментом атестації кадрів МОН України; у двох міжнародних виданнях, одне з яких з імпаکت-фактором, а друге включене до «Переліку провідних рецензованих наукових журналів і видань, у яких повинні бути опубліковані основні наукові результати дисертації на здобуття наукового ступеня доктора і кандидата наук» Вищої атестаційної комісії Росії; у науковій монографії; у двох матеріалах конференцій. За результатами роботи створена комп'ютерна програма, на яку отримано два свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 130 найменувань, та одинадцяти додатків. Текстова частина викладена на 117 сторінках комп'ютерного набору і містить 7 рисунків і 25 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обгрунтовано актуальність проведення дослідження в напрямку технічного переоснащення та вдосконалення нормативно-методичного забезпечення системи екологічного моніторингу й узгодження елементів інформаційних технологій, що використовуються суб'єктами системи моніторингу.

Сформульовано мету та завдання дослідження, їх зв'язок із програмами розвитку України; об'єктом дослідження визначено урбоекосистему Івано-Франківська, предметом – показники рівня екологічної безпеки.

У *першому розділі* дана загальна характеристика міста Івано-Франківська, оцінки якості середовища проживання, окремих мікроелементів (Hg, Be, Cd, Co, Pb, As, Se, Cu, Cr, Zn, Fe, Al) та їхнього впливу на здоров'я людей. Проаналізовані наукові праці про оцінювання рівня екологічної безпеки населених пунктів. Наголошено, що Україна наближається до демографічної кризи, яка пов'язана також і з екологічною небезпекою.

У 60-ті – 90-ті роки минулого століття в працях Ю.А. Ізраєля, А.П. Виноградова, Н.Ф. Реймерса, В.В. Ковальського, А.В. Кошкарева, Л.Л. Малишевої, А.В. Мельника, Д.С. Орлова, Н.В. Прохорова, Б.А. Ревича, Ю.Е. Саєта, А.П. Сизова, І.В. Фоминої, О.Н. Яницкого, В.А. Алексеєнко, Л.М. Бортніка, В.О. Кучерявого, Л. Даланьї, W.E. Nuxhol, R.F. Mann була розроблена концепція моніторингу середовища проживання людей. Пізніше вона була доповнена медично-екологічними аспектами в працях А.А. Авцина, Н.А. Агаджаняна, А.І. Акулова, Ф.Ф. Даутова, О.М. Адаменка, Э. Экхольма, Г.П. Зарубіна, В. Жовтюк, С.А. Куролап, Ю.М. Лабія, Г.В. Меренюк, Л.В. Міщенко, В.Ф. Протасова, Н.А. Протасової, П. Ревеля, Л.І. Рихванова, Л.Я. Савчук, А.Н. Семенової, Д.К. Соколова, А.Н. Стожарова, Д. Г. Тагдісі, Б.Л. Черкаського, Л.А. Чепелевської, М. Г. Шандала, С.Э. Шибанова, М.І. Яцика, Н.С. Ягья.

Вагомий внесок в розвиток екологічної геології й екологічної безпеки Прикарпаття та міста Івано-Франківська зробив професор О.М. Адаменко. Під його керівництвом проведений комплексний аналіз екологічного стану території міста та побудовані комп'ютерні еколого-техногеохімічні карти. Ним запропонована та розроблена комп'ютерна інформаційно-аналітична та прогнозно-керуюча система екологічного моніторингу, техногенно-екологічної безпеки, прогнозу та попередження надзвичайних ситуацій.

Екологічні фактори в природі діють комплексно. Особливо важливо пам'ятати це, оцінюючи вплив хімічних забруднювачів, коли сумарний ефект (на негативну дію однієї речовини накладається негативна або позитивна дія інших) істотно змінює умовні значення ГДК, наведені в довідниках. Це питання на сьогодні ще мало вивчене, але через актуальність і велике значення перебуває в стані активного дослідження в усіх розвинених країнах.

Міжнародне співтовариство на даному етапі розглядає показники стану навколишнього середовища як комплексний інструментарій для виміру та репрезентації еколого-економічних тенденцій у країні. Виходячи з цих позицій, виділяються три основні типи показників:

1) показники сучасного екологічного стану, які визначають існуючі екологічні параметри;

2) показники впливу або тиску, які відображають антропогенний вплив на навколишнє середовище;

3) показники, що регулюють вплив на навколишнє середовище, за допомогою яких визначається, як різні агенти реагують на специфічний вплив.

Загальними завданнями інтегральних показників стану навколишнього природного середовища в міжнародній практиці є:

- оцінка місця та ролі екологічних проблем, які супроводжують економічне зростання держави;

- визначення стратегічних пріоритетів у короткострокових і довгострокових програмах соціально-економічного розвитку, які зорієнтовані на сталий розвиток суспільства та його рівновагу з динамічними процесами навколишнього середовища;

- визначення джерел фінансування та політичних пріоритетів природоохоронних стратегій;

- визначення пріоритетних екологічних проблем, які потребують першочергових вирішень на підставі реалістичних, ефективних та економічно зрівноважених рішень.

Очевидно, що ресурсний характер показників стану навколишнього природного середовища, прийнятий на Україні, не відповідає сучасним вимогам формування системи сталого розвитку. Актуальним є впровадження інтегральних показників стану навколишнього природного середовища, що дозволило б узгоджено розглядати проблеми стану середовища, людського існування та соціально-економічного розвитку.

У даний час ефективна екологічна політика неможлива без пріоритету здоров'я населення в фокусі несприятливих впливів оточуючого середовища. Проте цілісного підходу та єдиної методології моніторингу стану урбоекосистем і здоров'я населення та їх взаємозв'язків в організаційно-технічному й інформаційно-аналітичному розумінні поки що не створено.

Не розроблені підходи для оцінювання ризиків проживання на території міст у залежності від мікроелементного складу ґрунтів. Відсутність доступної детальної екологічно-медичної інформації призводить до того, що міська влада Івано-Франківська приймає рішення без науково обґрунтованих екологічних орієнтирів.

У *другому розділі* проаналізована ситуація стану ґрунтового покриву території міста Івано-Франківська з позиції впливу на здоров'я людей і запропонована методологія аналізу впливу концентрацій окремих мікроелементів на довкілля у комплексній дії на людський організм.

З метою забезпечення однорідності даних і можливості їх співставлення території міста Івано-Франківська була розділена на 12 частин (рис. 1), які названі екологічними дільницями (ЕД). Кожна дільниця характеризується концентраціями мікроелементів у її ґрунті, захворюваністю та смертністю населення, що проживає на її території. У дослідженні використані аналізи 202 проб ґрунтів, які були відсортовані по ЕД. Для кожної ЕД обчислено середні та фонові значення вмістів досліджуваних хімічних елементів.



**Рисунок 1. Схема поділу території міста Івано-Франківська на екологічні дільниці**

Дані захворюваності та смертності відбирались із офіційних статистичних звітів про терапевтичну групу захворювань дорослих людей (форма № 71). У цих звітах виділено 107 дільниць зон обслуговування всіх 4-х поліклінік міста Івано-Франківська (249457 нозологічних одиниць). Дослідження впливу концентрацій мікроелементів на здоров'я людей виконувалось із середніми значеннями концентрацій мікроелементів у ґрунтах ЕД і середніми значеннями загальної поширеності захворювань, поширеності хвороб-маркерів забруднення довкілля за рік, середніми значеннями загальної й хвороб-маркерів забруднення довкілля первинної захворюваності за рік, середніми значеннями загальної смертності й від хвороб – маркерів забруднення довкілля смертності за рік тих же ЕД.

Середні значення концентрацій 12-ти мікроелементів у ґрунтах 12-ти екологічних дільниць характеризують дільниці в порівнянні з гранично допустимими концентраціями та кларками. Обчислені дані свідчать про перевищення середніх значень гранично допустимих концентрацій кадмію в екологічних дільницях 4, 8, 9; кобальту – у дільницях 8, 10; свинцю – у 2, 4; миш'яку – у 6, 10, 11, 12; міді – у 1, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12; хрому – у 4, 8; цинку – у 1, 2, 8, 10, 12; заліза – у 4, 5, 6, 8, 10, 11 й алюмінію – у 4, 6, 9, 10. За кількістю елементів, середні вмісти яких перевищують ГДК, найнеблагополучнішими є дільниці 4, 8 і 10. Найбільш сприятливими для проживання є ґрунти в дільницях № 3 (перевищення ГДК тільки міді), №5 (перевищення ГДК лише заліза) і №7 (перевищення ГДК лише міді).

Аналіз зв'язків захворюваності та смертності населення з комбінаціями концентрацій хімічних елементів в ґрунтах міста складався з кількох етапів (рис. 2):



1) встановлення причинно-наслідкових зв'язків між досліджуваними ознаками (виявлення факторів і вибір тих, які найбільше впливають на результуючий показник);

2) знаходження математичної моделі (кореляційно-регресійне дослідження, інформаційне забезпечення аналізу, вибір виду і типу функціональної залежності зв'язку);

3) оцінка адекватності математичної моделі та за необхідності її уточнення.

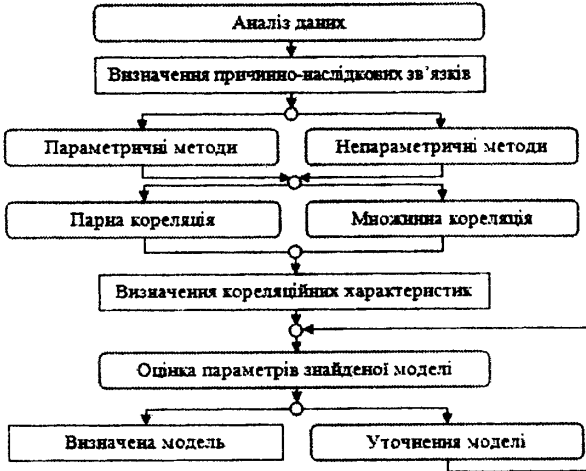


Рисунок 2. Алгоритм дослідження зв'язків

Тісноту статистичного зв'язку між випадковими змінними  $\eta$  (захворюваність та смертність) і  $\xi$  (концентраціями мікроелементів) вирішено визначити індексом кореляції  $I_{\eta\xi}$ :

$$I_{\eta\xi}^2 = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_\eta^2} = 1 - \frac{\sigma_{f(x)}^2}{\sigma_\eta^2}, \quad (1)$$

де  $\sigma_f^2 = Df(\xi)$  визначає дисперсію функції регресії  $y_{ep} = f(x)$ ,  $\sigma_\eta^2 = D\eta$  характеризує повну варіацію (дисперсію) досліджуваного результуючого показника  $\eta$ , а  $\sigma_{f(x)}^2$  характеризує середню величину неконтрольованого залишкового випадкового компоненту. Змінну  $\eta$  репрезентує вибірка  $nz_{ij}$ ,  $nzl_{ij}$ ,  $tnz_{ij}$ ,  $tnzl_{ij}$ ,  $s_{ij}$  з фіксованим значенням  $j$  від 1 до 7 (для  $nz_{ij}$ ,  $nzl_{ij}$ ,  $s_{ij}$ ) та від 1 до 6 (для  $tnz_{ij}$  і  $tnzl_{ij}$ ), а змінну  $\xi$  репрезентує вибірка  $x_{ij}$  для фіксованого значення  $j$  від 1 до 12 (для  $nz_{ij}$ ,  $nzl_{ij}$ ,  $s_{ij}$ ) та від 1 до 9 (для  $tnz_{ij}$  і  $tnzl_{ij}$ ). Середні значення концентрацій мікроелементів у ґрунтах позначені як  $x_{ij}$ , де  $i$  – номер екологічної ділянки, що змінюється від 1 до 12, а  $j$  –

номер мікроелемента: 1 – Hg, 2 – Be, 3 – Cd, 4 – Co, 5 – Pb, 6 – As, 7 – Se, 8 – Cu, 9 – Cr, 10 – Zn, 11 – Fe, 12 – Al. Змінні, якими позначені захворюваність і смертність, це:  $nz_{ij}$  – поширеність захворювань (де  $i$  – номер екологічної ділянки, що змінюється від 1 до 12,  $j$  – номер типу захворюваності (1 – всього, 2 –  $1_x$ , 3 –  $2_x$ , 4 –  $3_x$ , 5 –  $4_x$ , 6 –  $5_x$ , 7 –  $6_x$ ));  $nz_{1,j}$  – первинна захворюваність (де  $i$  – номер екологічної ділянки, що змінюється від 1 до 12,  $j$  – номер типу захворюваності);  $s_{ij}$  – смертність (де  $i$  – номер екологічної ділянки, що змінюється від 1 до 12,  $j$  – номер виду смертей від хвороб вище описаних типів);  $tnz_{ij}$  – темпи зміни поширеності захворювань (де  $i$  – номер екологічної ділянки, що змінюється від 1 до 9,  $j$  – номер типу захворюваності (1 – всього, 2 –  $1_x$ , 3 –  $2_x$ , 4 –  $3_x$ , 5 –  $4_x$ , 6 –  $5_x$ ));  $tnz_{1,j}$  – темпи зміни первинної захворюваності (де  $i$  – номер екологічної ділянки, що змінюється від 1 до 9,  $j$  – номер типу захворюваності (1 – всього, 2 –  $1_x$ , 3 –  $2_x$ , 4 –  $3_x$ , 5 –  $4_x$ , 6 –  $5_x$ )). Позначення типів хвороб:  $1_x$  – хвороби крові та кровотворних органів;  $2_x$  – хвороби органів дихання, серед яких  $3_x$  – хронічний бронхіт,  $4_x$  – бронхіальна астма;  $5_x$  – хвороби органів травлення;  $6_x$  – онкологічні захворювання.

Здобувачем проведено попередній аналіз геометричної структури сукупності розрахованих даних. Проаналізована геометрія парних кореляційних полів. Для цього використовувались набори параметричних функцій, які за допомогою нескладних перетворень зводяться до лінійної та їх суперпозицій. Множинний підхід був використаний у вигляді сум, добутків, композицій цих функцій та степеневих і тригонометричних поліномів.

Виходячи з аналізу виконаних розрахунків, можна стверджувати, що середні концентрації досліджуваних 12-ти мікроелементів у ґрунтах всієї території міста Івано-Франківська загалом і середні концентрації досліджуваних мікроелементів у ґрунтах територій 12-ти екологічних ділянок міста відображають помірний рівень екологічної небезпеки. Є деяке незначне відхилення по окремих хімічних елементах і ділянках, яке не суттєво впливає на ситуацію стану екологічної безпеки міста.

Загальноміський показник сумарного коефіцієнта концентрацій перевищено в ділянках 4, 7, 8, 9 і 10, а загальноміський показник комплексного забруднення – в ділянках 4, 6 і 9. Найбільш несприятливі умови для проживання з позиції комплексного забруднення важкими металами ґрунтів є в екологічній ділянці № 4.

Концентраційні індекси безпеки життєдіяльності й індекси екологічно безпечної концентрації додатні не у всіх місцях відбору проб, що вказує на не зовсім сприятливу для проживання людей ситуацію з ґрунтами міста Івано-Франківська.

Аналізуючи дані, необхідно зробити вибір між параметричними та непараметричними методами. Проаналізувавши коефіцієнти кореляції, необхідно виділити екзогенні й ендогенні змінні, між якими існує тісний зв'язок і знайти відповідні математичні моделі. Ці моделі слугуватимуть для розрахунку та прогнозування показників екологічної безпеки міста.

У *третьому розділі* розроблено екологічно медичні індекси. Для цього спершу виявлено статистично значущі зв'язки між концентраціями мікроелементів у ґрунтах територій проживання людей та їх захворюваністю й смертністю.

Розраховані статистики критерію Шапіро-Уїлка для середніх значень вмістів 12-ти хімічних елементів в ґрунті 12-ти екологічних ділянок міста Івано-Франківська та середніх значень поширеності захворювань, первинної

захворюваності й смертності жителів тих же 12-ти екологічних ділянок вказали на те, що статистичні залежності слід виявляти непараметричними методами. Тому аналіз виконувався непараметричними статистичними методами з використанням коефіцієнта рангової кореляції Спірмена парних залежностей. У результаті цього аналізу виявлені статистично значущі зв'язки (табл. 1). У наведеній таблиці мінус перед позначенням хімічного елементу вказує на обернену залежність, а плюс – на пряму для досліджуваного діапазону комбінацій концентрацій.

Таблиця 1

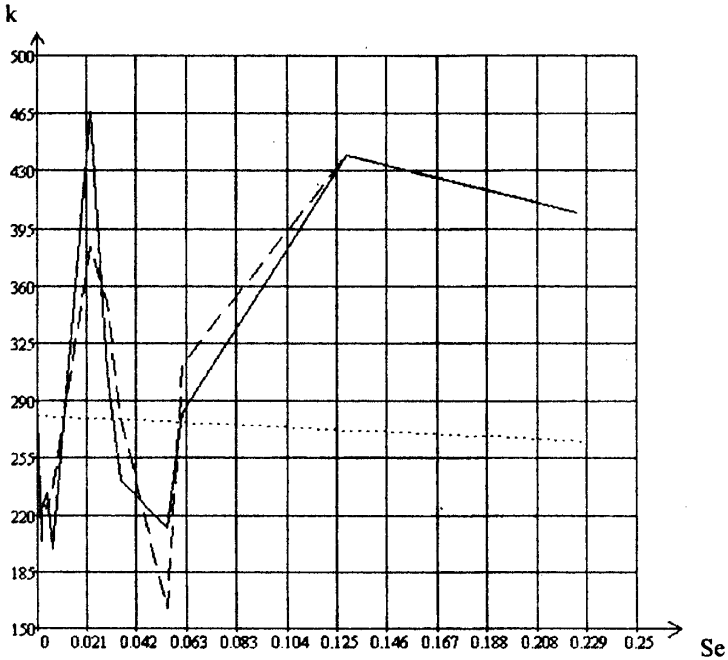
Виявлені статистично значущі зв'язки						
Поширеність захворювань						
Всього	1 <sub>x</sub>	2 <sub>x</sub>	3 <sub>x</sub>	4 <sub>x</sub>	5 <sub>x</sub>	6 <sub>x</sub>
+Se, -Cu	-Fe, -Al	-Cd	-Cd, +As	-Cd, +As, +Zn, -Fe	-Cd, +As, -Fe, -Al	+Cd, +Cr, +Fe, +Al
Первинна захворюваність						
Всього	1 <sub>x</sub>		5 <sub>x</sub>		6 <sub>x</sub>	
+Se	+Cd, -Fe, +Al		-Co, -Zn		+Hg, -Be, +Cd, +Cr, +Fe, +Al	
Смертність						
Всього	1 <sub>x</sub>	2 <sub>x</sub>	3 <sub>x</sub>	4 <sub>x</sub>	6 <sub>x</sub>	
+Hg, -Co, -Cu, -Zn	+Fe, -Al	-Cu, +Cr	+Cd, +Pb, +Cr, +Fe, +Al	+Cr, +Fe, +Al	-Cu	
Темпи зміни поширеності захворювань						
Всього	1 <sub>x</sub>	2 <sub>x</sub>	3 <sub>x</sub>	4 <sub>x</sub>	5 <sub>x</sub>	
-Hg, +Be, -Cd, -Fe, -Al	+Be, -Fe, -Al	+Be, -Cd, -Fe, -Al	-Hg, +Be, -Cd, -Fe, -Al	-Hg, +Be, -Cd, -Fe, -Al	+Be, -Cd, -Fe, -Al	
Темпи зміни первинної захворюваності						
Всього	1 <sub>x</sub>	2 <sub>x</sub>	3 <sub>x</sub>	4 <sub>x</sub>	5 <sub>x</sub>	
-Hg, +Be, -Cd, -Fe, -Al	+Hg, -Be, +Cd, +Cr, +Fe, +Al	-Hg, -Fe, -Al	-Hg, -Cd, +Co, -Se, -Fe, -Al	-Cd, -Fe, -Al	+Be	
Темпи зміни смертності						
+Hg, -Be, -Co, +As, +Se, +Fe, +Al						

Для встановлених зв'язків знайдено адекватні апроксимуючі залежності, які спершу розглядалися як лінійні. Проте, лінійна апроксимація не завжди є адекватною моделлю (рис. 3), тому знайдено нелінійні залежності, середня похибка апроксимації яких не перевищувала 15%.

У результаті проведених розрахунків вдалось знайти необхідні функції. Наприклад, математична модель зв'язку загальної первинної захворюваності з концентрацією селену (рис. 3) має вигляд поліному  $Q(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$  із коефіцієнтами  $a_0=251,759$ ;  $a_1=-18439,068$ ;  $a_2=3331969,768$ ;  $a_3=-148369502,174$ ;  $a_4=2505190195,796$ ;  $a_5=-16677830758,669$ ;  $a_6=36375555210,963$  і змінною  $x$  – концентрацією Se. Точність апроксимації склала  $\bar{\varepsilon} = 11,0516\%$ .

На основі знайдених залежностей розроблено екологічно-медичні індекси та динамічні екологічно-медичні індекси, які чисельно виражають рівень безпеки співвідношень концентрацій окремих мікроелементів у ґрунтах для здоров'я людей.

Структура загальних індексів відповідає структурі хвороб – екологічних маркерів – та смертності від них. Загальні індекси визначені як лінійна згортка екологічно-медичних індексів типів хвороб.



**Рисунок 3. Апроксимації загальної первинної захворюваності людей  $k$  (кількість випадків на 1000 людей за рік) в залежності від вмісту селену  $Se$  (мг/кг) у ґрунті території проживання:**  
суцільна лінія – виявлені значення, точки – пряма, пунктирна лінія – поліном

Загальні екологічно-медичні індекси (рис. 4) поширеності захворювань, первинної захворюваності та смертності складаються з 5-ти частин, друга із яких розділена додатково на 3 частини. Загальні екологічно-медичні індекси поширеності захворювань ( $I_{nz}$ ), первинної захворюваності ( $I_{nz1}$ ), смертності ( $I_s$ ) та індекси поширеності захворювань і первинної захворюваності окремих типів хвороб ( $Inz_{2x}$ ,  $Inz_{5x}$ ,  $Inz_{6x}$ ,  $Inz1_{1x}$ ,  $Inz1_{2x}$ ,  $Inz1_{5x}$ ,  $Inz1_{6x}$ ) визначають кількість людей із 1000, у яких можуть виникнути хвороби відповідних типів. Екологічно-медичні індекси смертності від окремих типів хвороб ( $Is_{1x}$ ,  $Is_{2x}$ ,  $Is_{5x}$ ,  $Is_{6x}$ ) визначають кількість людей із 100000, які можуть померти від відповідних хвороб. Динамічні екологічно-медичні індекси ( $Itnz_{1x}$ ,  $Itnz_{2x}$ ,  $Itnz_{5x}$ ,  $Itnz1_{1x}$ ,  $Itnz1_{2x}$ ,  $Itnz1_{5x}$ ) відображають зміну кількості людей, у яких можуть виникнути відповідні хвороби, зі 100000 людей за 9 років.

Загальні екологічно-медичні індекси визначені формулами:

$$I_{nz} = a_1 \cdot Inz_{1x} + a_2 \cdot Inz_{2x} + a_3 \cdot Inz_{3x} + a_4 \cdot Inz_{4x} + a_5 \cdot Inz_{інша}, \quad (2)$$

$$I_{nz1} = a_1 \cdot Inz1_{1x} + a_2 \cdot Inz1_{2x} + a_3 \cdot Inz1_{3x} + a_4 \cdot Inz1_{4x} + a_5 \cdot Inz1_{інша}, \quad (3)$$

$$I_s = a_1 \cdot Is_{1x} + a_2 \cdot Is_{2x} + a_3 \cdot Is_{3x} + a_4 \cdot Is_{4x} + a_5 \cdot Is_{інша}, \quad (4)$$

де  $a_1, a_2, \dots, a_5$  – вагові коефіцієнти;  $Inz_{1x}, Inz_{2x}, Inz_{3x}, Inz_{4x}, Inz1_{1x}, Inz1_{2x}, Inz1_{3x}, Inz1_{4x}, Is_{1x}, Is_{2x}, Is_{3x}, Is_{4x}$  – екологічно-медичні індекси відповідних типів захворюваності та видів смертності, які розраховуються знайденими залежностями;  $Inz_{інша}, Inz1_{інша}, Is_{інша}$  – екологічно-медичні індекси інших типів.

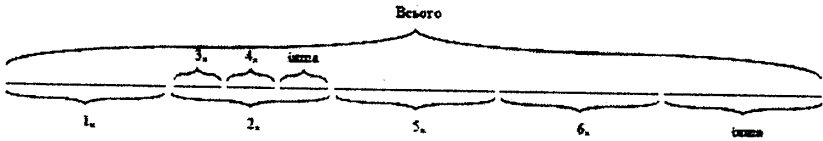


Рисунок 4. Структура загальних екологічно-медичних індексів

Вагові коефіцієнти  $a_1, a_2, \dots, a_5$  повинні задовольняти умови:

$$0 \leq a_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, 5, \sum_{i=1}^5 a_i = 1. \quad (5)$$

Друга частина кожного з загальних екологічно-медичних індексів (хвороби органів дихання  $2_x$ , рис. 4) складається з хронічного бронхіту ( $3_x$ ) і бронхіальної астми ( $4_x$ ). Тому:

$$Inz_{2x} = a_{2x1} \cdot Inz_{3x} + a_{2x2} \cdot Inz1_{4x} + a_{2x3} \cdot Inz1_{інша2x}, \quad (6)$$

$$Inz1_{2x} = a_{2x1} \cdot Inz1_{3x} + a_{2x2} \cdot Inz1_{4x} + a_{2x3} \cdot Inz1_{інша2x}, \quad (7)$$

$$Is_{2x} = a_{2x1} \cdot Is_{3x} + a_{2x2} \cdot Is_{4x} + a_{2x3} \cdot Is_{інша2x}, \quad (8)$$

де  $a_{2x1}, a_{2x2}, a_{2x3}$  – вагові коефіцієнти, що задовольняють аналогічні до умов (5) умови, тільки для 3-х коефіцієнтів;  $Inz_{3x}, Inz_{4x}, Inz1_{3x}, Inz1_{4x}, Is_{3x}, Is_{4x}$  – екологічно-медичні індекси типів хвороб, які розраховуються знайденими залежностями.

Інтегральний екологічно-медичний індекс екологічної безпеки визначено формулою:

$$I_{е.м} = (I_{nz} + I_{nz1} + I_s) / 3. \quad (9)$$

Структура динамічних екологічно-медичних індексів така ж, як і структура загальних екологічно-медичних індексів (рис. 4), за винятком індексів онкологічних хвороб ( $6_x$ ), які не враховувались окремим типом.

Прогнозуючий інтегральний екологічно-медичний індекс екологічної безпеки визначено формулою:

$$I_{\text{пнм}} = (I_{\text{тз}} + I_{\text{тз1}} + I_{\text{тс}}) / 15, \quad (10)$$

де  $I_{\text{пнм}}$  – прогнозуючий інтегральний екологічно-медичний індекс екологічної безпеки;  $I_{\text{тз}}$ ,  $I_{\text{тз1}}$ ,  $I_{\text{тс}}$  – екологічно-медичні індекси темпів зміни, відповідно, поширеності захворювань, первинної захворюваності та смертності населення.

Область визначення екологічно-медичних індексів (табл. 2) відповідає даним, які були використані у дослідженні. Початковими значення є мінімальні значення концентрацій відповідних мікроелементів із усіх проб, а кінцевими – максимальні.

Таблиця 2

## Область визначення екологічно медичних індексів (мг/кг)

Елементи	Hg	Be	Cd	Co	Pb	As	Se	Cu	Cr	Zn	Fe	Al
Початок	0	0	0	0	0,1	0	0	0,03	0	0,4	0,6	0,1
Кінець	3,1	1,7	4,3	13,5	78,4	2,9	1,4	16,4	0,16	66,4	46,1	9,4

У результаті розрахунків встановлено статистичний зв'язок між концентраціями мікроелементів у ґрунтах і захворюваністю й смертністю. Знайдемо 30 математичних моделей, що адекватно його апроксимують. Із них – 13 лінійних і 17 – нелінійних.

Розроблено екологічно медичні індекси, які чисельно виражають степінь небезпеки від хімічного складу ґрунту, а саме можливості збільшення або зменшення захворюваності та смертності людей. Визначено межі застосування екологічно-медичних індексів.

У *четвертому розділі* розроблено інтегральний показник рівня екологічної безпеки території. Екологічний стан території визначений залежністю:

$$EC = F(EC_{\kappa}, EB_{\text{т}}), \quad (11)$$

де  $EC$  – екологічний стан території,  $EC_{\kappa}$  – екологічний стан природних компонентів екосистеми,  $EB_{\text{т}}$  – екологічний вплив техносфери на природні компоненти.

Екологічний стан природних компонентів залежить від дев'яти складових:

$$EC_{\kappa} = F(EC_{\text{л}}, EC_{\text{гф}}, EC_{\text{зм}}, EC_{\text{п}}, EC_{\text{а}}, EC_{\text{м}}, EC_{\text{ф}}, EC_{\text{г}}, EC_{\text{д}}), \quad (12)$$

де  $EC_{\text{л}}$  – екологічний стан літосфери та мінерально-сировинних ресурсів;  $EC_{\text{гф}}$  – екологічний стан геофізсфери та космічні ресурси;  $EC_{\text{зм}}$  – екологічний стан геоморфосфери і територіальні ресурси;  $EC_{\text{п}}$  – екологічний стан поверхневої та підземної гідросфери, динаміка і якість водних ресурсів;  $EC_{\text{а}}$  – екологічний стан атмосфери та кліматичні ресурси;  $EC_{\text{т}}$  – екологічний стан педосфери та земельні

ресурси;  $EC_{\phi}$  – екологічний стан фітосфери, рослинні та рекреаційні ресурси;  $EC_3$  – екологічний стан зоосфери, ресурси тваринного світу;  $EC_d$  – екологічний стан демосфери, захворюваність населення у зв'язку з екологічними чинниками.

Відрізок можливих значень кожного показника розбито на 5 частин:  $[x_{zp}^u, x_{пор}^u]$ ,  $[x_{пор}^u, x_{оптл}^u]$ ,  $[x_{оптл}^u, x_{оптн}^u]$ ,  $[x_{оптн}^u, x_{пор}^s]$ ,  $[x_{пор}^s, x_{zp}^s]$ , де  $x_{zp}^u, x_{zp}^s$  – екологічно досяжні мінімальне та максимальне значення показника або його нижня та верхня межі;  $x_{пор}^u, x_{пор}^s$  – порогові нижнє та верхнє значення показника, тобто значення, які бажано не перетинати;  $x_{оптл}^u, x_{оптн}^u$  – мінімальне та максимальне оптимальні значення показника. Значення  $x_{оптл}^u$  та  $x_{оптн}^u$  знаходяться в середині інтервалу порогових значень. Значення  $x_{оптл}^u$  може дорівнювати  $x_{оптн}^u$ , тоді відрізок  $[x_{оптл}^u, x_{оптн}^u]$  перетворюється в точку  $x_{оптл}^u$ . Значення  $x_{zp}^u, x_{пор}^u, x_{оптл}^u, x_{оптн}^u, x_{пор}^s, x_{zp}^s$  визначаються експертним методом. Значення нормованого показника в точках  $x_{zp}^u, x_{zp}^s$  визначається експертним методом або становить 0,5.

Нормування показників, тобто перехід до такого масштабу, коли “найкращому” значенню відповідає значення 1, а “найгіршому” – значення 0, здійснюється двома методами. Першим методом нормування виконується формулою:

$$m1n_{ij} = \begin{cases} x_{ij} / x_{оптн}^u, \\ x_{оптл}^u / x_{ij}, \end{cases} \quad (13)$$

де  $m1n_{ij} = x_{ij}/x_{оптн}^u$  – нормоване значення  $j$ -того показника  $x_{ij}$   $i$ -тої сфери першим методом, якщо показник є стимулятором ( $m1n_{ij} = 1$  для  $x_{ij} = x_{оптн}^u$ );  $m1n_{ij} = x_{оптл}^u/x_{ij}$ , якщо показник є дестимулятором. Другим методом нормування є розрахунок формулами:

$$m2n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_{zp}^u}{x_{пор}^u - x_{zp}^u}, x_{zp}^u \leq x_{ij} < x_{пор}^u \\ \frac{(x_{ij} - x_{пор}^s) + x_u^s (x_{оптн}^s - x_{ij})}{x_{оптн}^s - x_{пор}^s}, x_{пор}^s \leq x_{ij} < x_{оптн}^s \\ 1, x_{оптн}^s \leq x_{ij} \leq x_{оптн}^u \\ \frac{x_u^s (x_{ij} - x_{оптл}^u) + (x_{пор}^s - x_{ij})}{x_{пор}^s - x_{оптл}^u}, x_{оптл}^u < x_{ij} < x_{пор}^s \\ \frac{x_{zp}^s - x_{ij}}{x_{zp}^s - x_{пор}^s}, x_{пор}^s \leq x_{ij} \leq x_{zp}^s \end{cases} \quad (14)$$

де  $m2n_{ij}$  – нормоване значення показника  $x_{ij}$  другим методом,  $x_u^s = x_c^s = 0,5$ . За межами відрізка  $[x_{zp}^u, x_{zp}^s]$  нормовані значення показників дорівнюють 0.

Узагальнений інтегральний показник кожної  $i$ -тої сфери розраховується як середнє значення інтегральних показників  $i$ -тої сфери, знайдених двома методами нормування, а кожен із інтегральних показників  $i$ -тої сфери є лінійною згорткою

нормоване значення показника  $x_{ij}$ . Інтегральний показник екологічної безпеки розраховується формулою:

$$IP = \sum_{j=1}^n b_j \cdot IP_j, \quad (15)$$

де  $n$  – кількість сфер,  $b_i$  – вагові коефіцієнти сфер.

Ваговий коефіцієнт  $i$ -ї сфери визначається експертним шляхом (опитуванням  $N$  експертів) як відношення суми балів, що дали всі експерти даній сфері, до загальної суми балів:

$$b_i = \frac{\sum_{k=1}^N S_{ik}}{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N S_{jk}}, \quad (16)$$

де  $S_{ik}$  – оцінка  $i$ -ї сфери, яку дав  $k$ -й експерт;  $N$  – кількість експертів;  $M$  – кількість сфер. Зазначені коефіцієнти можна також визначати методом головних компонентів факторного аналізу.

Для автоматизації розрахунків запропонована інформаційна аналітична система EcoSafetyCity, яка може бути використана екологічними службами. Інтелектуальна частина цієї системи реалізована семантичною мережею, яка є орієнтованим графом з розміченими вершинами та ребрами. Вершини позначають об'єкти (сутності) урбоекосистеми або їх деякий стан, а ребра – взаємозв'язки між ними. На множинному рівні граф  $G$  визначений впорядкованою парою  $G=(V,R)$ , де  $V$  – множина вершин, а  $R$  – множина ребер. Множини  $V$  і  $R$  – нечіткі множини.

Прийняття рішень в інформаційній аналітичній системі нормується двома методами. Перший метод базується на корисності альтернатив. Норма модуля корисності  $\|q_i\|$  альтернативи з  $m$ -кількості сфер екологічної безпеки є значенням модуля  $n$ -вимірного простору, розділеним на максимальне значення з цих модулів:

$$\|q_i\| = \| [q_i] \| = | [q_i] | / \max | [q_i] |, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (17)$$

Другий метод базується на ризиках альтернатив. Норма ризику  $\|ra_i\|$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) альтернативи є її сумарний ризик, розділений на максимальне значення з сумарних ризиків всіх альтернатив:

$$\|ra_i\| = ra_i / \max ra_i, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (18)$$

Функціонально інформаційна система EcoSafetyCity реалізована у 7-ти програмних блоках: блоці вводу вхідної інформації, блоці моделювання, блоці аналізу, блоці прогнозування, блоці генерації документів, блоці-інтеграторі та



генераторі звіту. Для взаємодії з користувачем використано вікно з меню команд і робочим полем (рис. 5).

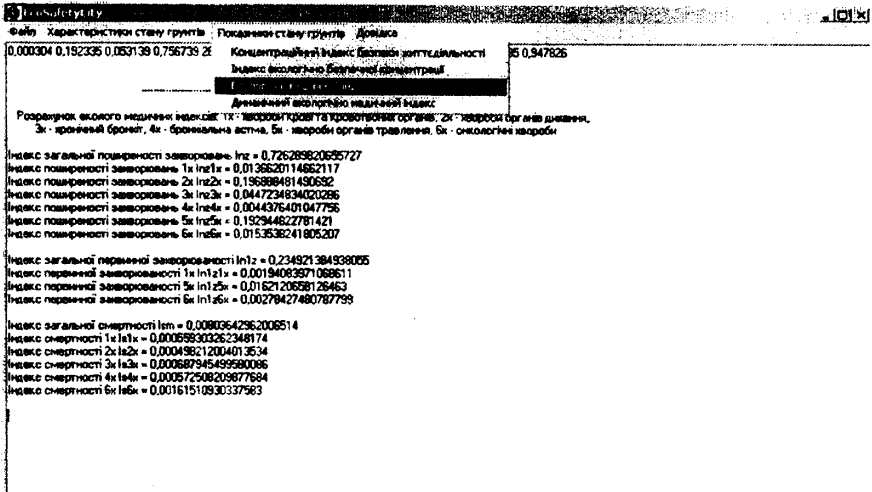


Рисунок 5. Вікно програми EcoSafetyCity

Для розрахунку розроблених моделей створено 6 програмних модулів: програми розрахунку фонових значень забруднення EcoPhone, програми розрахунку статистичних параметрів EcoStat, програми розрахунку концентраційних інтервалів безпеки життєдіяльності InterConcSafetyLife, програми розрахунку екологічно-безпечних для існування геосистем інтервалів концентрації забруднювачів EcoSafetyGeosystems, програми розрахунку екологічно-медичного показника стану ґрунтів EcoMedIndex і програми прогнозування захворюваності та смертності EcoMedIndex. Програма спроектована та розроблена в середовищі Borland Delphi 7. Її можна використовувати в комп'ютерах із операційною системою Windows NT 4 і новіших версіях Microsoft Windows.

Результати розділу показують, що на даний час якість навколишнього природного середовища регламентується нормативами, які враховують тільки вплив окремих мікроелементів на здоров'я людей. Комплексний вплив багатьох хімічних елементів та їх співвідношення у природі жодним чином не регламентується. Тому розроблено нові, більш інформативні показники стану довкілля.

Дані про урбоекологічні явища приведені до однієї спільної основи, тобто нормовані з метою подальшого використання. В якості загального чисельного показника стану екологічної безпеки запропоновано використовувати інтегральний показник екологічної безпеки. Якщо вхідних даних є надто багато, то вибір найбільш впливових виконується методом головних компонентів.

Для автоматизації аналізу показників стану екологічної безпеки міста розроблено екологічно-медичні та динамічні екологічно-медичні індекси. Для їх розрахунку запропонована інформаційна система *EcoSafetyCity*.

## ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень розв'язано важливу науково-практичну задачу, яка полягає у визначенні закономірностей впливу окремих мікроелементів на навколишнє середовище та здоров'я людей, що дає змогу покращити прогнозування, планування та контроль системи екологічної безпеки міст, а саме:

1. Проведений аналіз впливу концентрацій 12-ти важких металів на стан здоров'я, на основі якого доведено, що зі збільшенням їх концентрацій від 5-10 % збільшується захворюваність на 23%.

2. Виконано аналітичні дослідження впливу мікроелементного складу ґрунтів на захворюваність людей. Виявлені зв'язки, знайдені відповідні їм функціональні залежності, з використанням яких розроблено екологічно-медичні індекси й прогнозуючий інтегральний екологічно-медичний індекс екологічної безпеки.

3. Розроблено методологію визначення показників екологічної безпеки території, на основі якої розроблено математичну модель. Вона враховує стан літосфери та мінерально-сировинних ресурсів; геофізсфери та космічних ресурсів; геоморфосфери і територіальних ресурсів; поверхневої та підземної гідросфери, динаміки і якості водних ресурсів; атмосфери та кліматичних ресурсів; педосфери та земельних ресурсів; фітосфери, рослинних і рекреаційних ресурсів; зоосфери, ресурсів тваринного світу; демосфери, захворюваності населення у зв'язку з екологічними чинниками та показника екологічного впливу техносфери на природні компоненти. Запропоновано їх звести до інтегрального показника рівня екологічної безпеки, попередньо нормувавши виміряні та розраховані параметри.

4. Розроблено інформаційну аналітичну систему екологічних служб і комплексну галузеву методика «Прогнозування показників екологічної безпеки міст за результатами моніторингу ґрунтів», які впроваджено в державну екологічну інспекцію в Івано-Франківській області. Функціонально інформаційна система реалізована у 7-ми програмних блоках: вводу вхідної інформації, моделювання, аналізу, прогнозування, генерації документів, інтеграторі та генераторі звіту. Інтелектуальна частина цієї системи використовує семантичну мережу, яка реалізована нечітким орієнтованим графом із розміченими вершинами та ребрами. Прийняття рішень нормується двома методами. Перший метод базується на корисності альтернатив, а другий – на ризиках альтернатив.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Екологічна безпека збалансованого ресурсокористування в Карпатському регіоні: наукова монографія за редакцією професорів – доктора геолого-мінералогічних наук О. М. Адаменка і доктора технічних наук Я. О. Адаменка // Адаменко О. М., Адаменко Я. О., Архипова Л. М., Головчак В. Ф., Зорін Д. О., Зоріна Н. О., Крихівський М. В. (8%), Мандрик О.М., Міщенко Л. В., Приходько М. М., Приходько М. М. (молодший), Радловська К. О., Хащак М. З. – Івано-Франківськ: «Симфонія форте», 2013. – 368 с.

2. Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 47045 «Комп'ютерна програма обчислення фондів, аномалій та ізоконцентрат для побудови

геоекологічних карт 10-ти мікроелементів в ґрунтах» / Л. В. Міщенко, М. В. Крихівський (50%) // Дата реєстрації Державною службою інтелектуальної власності України 02.01.2013.

3. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49634 «Комп'ютерна програма обчислення екологічно медичних індексів екологічної безпеки міста» / Крихівський Михайло Васильович // Дата реєстрації Державною службою інтелектуальної власності України 13.06.2013.

4. Тымкив Д. Ф. Исследование влияния загрязнения почв на здоровье жителей города Ивано-Франковска / Д. Ф. Тымкив, М. В. Крихівський (90%) // Системы. Методы. Технологии. – 2014. – № 3(19). – С.153-157.

5. Адаменко Я. О. Показатели уровня экологической безопасности / Я. О. Адаменко, М. В. Крихівський (80%) // Наука и мир. – 2014. – № 3(7). – С.173-178.

6. Крихівський М. В. Формалізація задачі дослідження впливу забруднення ґрунтів на екологію навколишнього середовища / М. В. Крихівський (90%), Д. Ф. Тимків, Д. Д. Матієшин // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2012. – № 2(32). – С. 48-52.

7. Адаменко О. М. Комп'ютерні програми оцінки екологічного стану екосистем та безпеки життєдіяльності населення у зоні впливу нафтогазових родовищ / О. М. Адаменко, Л. В. Міщенко, Д.О. Зорін, М.В. Крихівський (25%) //Екологічна безпека та збалансоване природокористування.– 2012. – № 2 (6). – С. 32-53.

8. Міщенко Л. В. Комп'ютерна програма ECOSTAT для статистичної обробки екологічної інформації / Л. В. Міщенко, М. В. Крихівський (50%) // Екологічна безпека та збалансоване природокористування. – 2013. – № 1 (7). – С. 95-104.

9. Крихівський М. В. Чисельні показники рівня екологічної безпеки / М. В. Крихівський (90%), Д. Ф. Тимків // Нафтогазова енергетика. – 2013. – № 2(20). – С. 163-173.

10. Крихівський М. В. Аналітична інформаційна система екологічної безпеки міста // Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції аспірантів, молодих вчених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості». – Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2013. – С. 64-67.

11. Міщенко Л. В. Комп'ютерна програма ECOSTAT для статистичної обробки екологічної інформації / Л. В. Міщенко, Д. О. Зорін, М. В. Крихівський (25%), О. М. Адаменко // Доповіді І-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Екологічна безпека та збалансоване природокористування" у м. Івано-Франківську, 20-22 вересня 2012 р. Збірник матеріалів конференції - доповідей (статей) і тез. - Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2012. - С. 78-80.

#### АНОТАЦІЯ

**Крихівський М.В. Прогнозування показників екологічної безпеки міст на основі моніторингу навколишнього середовища (на прикладі Івано-Франківська). – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, м. Івано-Франківськ, 2014 рік.

У дисертаційній роботі висвітлено хід і результати дослідження впливу хімічного складу ґрунтів міста Івано-Франківська на здоров'я людей. Проаналізовано екологічний стан ґрунтів у місті. Встановлено статистичний зв'язок між концентраціями мікроелементів та хворобами людей. Запропоновано математичні моделі показників рівня екологічної безпеки з медичної точки зору.

На основі знайдених залежностей розроблено екологічно-медичні індекси та динамічні екологічно-медичні індекси, які чисельно виражають рівень безпеки співвідношень концентрацій окремих мікроелементів у ґрунтах для здоров'я людей. Структура загальних індексів відповідає структурі хвороб – екологічних маркерів – та смертності від них. Загальні індекси визначені як лінійна згортка екологічно-медичних індексів типів хвороб.

Розроблено методологію визначення показників екологічної безпеки території, на основі якої розроблено математичну модель. Вона враховує стан літосфери та мінерально-сировинних ресурсів; геофізсфери та космічних ресурсів; геоморфосфери та територіальних ресурсів; поверхневої та підземної гідросфери, динаміки та якості водних ресурсів; атмосфери та кліматичних ресурсів; педосфери та земельних ресурсів; фітосфери, рослинних і рекреаційних ресурсів; зоосфери, ресурсів тваринного світу; демосфери, захворюваності населення у зв'язку з екологічними чинниками та показника екологічного впливу техносфери на природні компоненти. Запропоновано їх звести до інтегрального показника рівня екологічної безпеки, попередньо нормувавши виміряні та розраховані параметри.

Спроєктовано та розроблено інформаційну аналітичну систему для екологічних служб. Функціонально інформаційна система реалізована б-ма програмними блоками: вводу вхідної інформації, моделювання, аналізу та прогнозування, генерації документів, інтеграторі та генераторі звіту. Інтелектуальна частина цієї системи використовує семантичну мережу, яка є нечітким орієнтованим графом з розміченими вершинами та ребрами. Прийняття рішень нормується двома методами. Перший метод базується на корисності альтернатив, а другий – на ризиках альтернатив.

**Ключові слова:** рівень екологічної безпеки, урбоекосистема, вплив екології на здоров'я, математичне моделювання, інформаційна аналітична система.

## АННОТАЦІЯ

**Крыхивский М.В. Прогнозирование показателей экологической безопасности городов за результатами мониторинга окружающей среды (на примере Ивано-Франковска). – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа Министерства образования и науки Украины, г. Ивано-Франковск, 2014 год.

В диссертационной работе отражены ход и результаты исследования влияния микроэлементного состава почв города Ивано-Франковска на здоровье его жителей. Проанализировано экологическое состояние почв в городе. Исходя из анализа выполненных расчетов, сделаны выводы о том, что концентрации исследуемых микроэлементов в почвах всей территории города Ивано-Франковска отражают

умеренный уровень опасности. Есть некоторое незначительное отклонение по отдельным химическим элементам и участкам, но они несущественно влияют на ситуацию состояния экологической безопасности города.

Выявлена статистическая связь между концентрациями микроэлементов и болезнями людей. Для этого использовались непараметрические методы с использованием ранговых корреляций. Предложены математические модели показателей уровня экологической безопасности с медицинской точки зрения. Для этого была выполнен предварительный анализ геометрической структуры совокупности рассчитанных данных, проанализирована геометрия парных корреляций. Были использованы линейная функция; параметрических функции, которые с помощью несложных преобразований сводятся к линейной; степенные и тригонометрические полиномы.

На основе найденных зависимостей разработаны эколого-медицинские индексы и динамические эколого-медицинские индексы, которые численно выражают уровень безопасности соотношений концентраций отдельных микроэлементов в почвах для здоровья людей. Динамические индексы учитывают развитие процессов во времени, что позволяет прогнозировать изменения состояния здоровья. Структура общих индексов соответствует структуре болезней – экологических маркеров – и смертности от них. Общие индексы определены как линейная свертка экологически медицинских индексов типов болезней.

Разработана методология определения показателей уровня экологической безопасности территории с числовыми показателями экологического состояния литосферы и минерально-сырьевых ресурсов; геофизической и космических ресурсов; геоморфосферы и территориальных ресурсов; поверхностной и подземной гидросферы, динамики и качества водных ресурсов; атмосферы и климатических ресурсов; педосферы и земельных ресурсов; фитосферы, растительных и рекреационных ресурсов; зоосферы, ресурсов животного мира; демосферы, заболеваемости населения в связи с экологическими факторами и показателя экологического воздействия техносферы на природные компоненты. Предложено их свести к интегральному показателю уровня экологической безопасности, предварительно нормировав измеряемые и рассчитанные параметры.

Спроектирована и разработана информационная аналитическая система для экологических служб. Она состоит из 6 основных программ расчета: фоновых значений загрязнения EcoPhone, статистических параметров EcoStat, концентрационных интервалов безопасности жизнедеятельности InterConcSafetyLife, экологически безопасных для существования геосистем интервалов концентрации загрязнителей EcoSafetyGeosystems, эколого-медицинских показателей состояния почв EcoMedIndex и прогнозирования заболеваемости и смертности EcoMedIndex.

Интеллектуальная часть информационной системы представлена семантической сетью. Реализована эта семантическая сеть нечетким графом, который описан нечеткими множествами вершин и ребер, задающими, соответственно, объекты урбозкосистемы и отношения между ними. Нормирование принятия решений использует две нормы. Норма полезностей альтернатив

определена отношением полезности альтернативы и максимально возможной полезности, а норма риска – как риск потерять полезность.

**Ключевые слова:** уровень экологической безопасности, урбозкосистема, влияние экологии на здоровье, математическое моделирование, информационная аналитическая система.

### ABSTRACT

**Krykhivskyy M.V. Forecasting of ecological safety of towns for the results of environmental monitoring (for example, Ivano-Frankivsk). – Manuscript.**

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 21.06.01 – environmental safety. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2014.

The thesis displays the progress and results of investigation of the chemical composition of the soil of the city of Ivano-Frankivsk on the health of its inhabitants. Analyzed the ecological condition of the soil in the city. Found a statistical association between the concentrations of trace elements and human disease. The mathematical models of indicators of environmental safety from a medical point of view.

On the basis of the found dependencies developed ecological and health codes and dynamic ecological and health codes that numerically express the security level concentration ratios of individual trace elements in the soil to human health. Dynamic indexes take into account the development of processes in time, which allows to predict changes in health status. The structure corresponds to the structure of the general indexes of disease – ecological markers – and mortality. General indices are defined as a linear convolution of environmentally medical indexes types of diseases.

Developed methodology of measuring indicators of environmental safety grounds with numerical indicators of ecological condition of the lithosphere and mineral resources, the ecological state geofizosphere and space resources; geomorfosphere ecological state and territorial resources, the ecological state of the surface and underground hydrosphere, dynamics and quality of water resources, the ecological state of the atmosphere and climatic resources ecological status pedosphere and land resources; environmental condition phytosphere plant and recreational resources; ecological state of the zoosphere, wildlife resources; demosphere ecological status, morbidity due to environmental factors and indicators of environmental impact on natural components of the technosphere. Proposed are reduced to the integral indicator of the level of ecological safety.

Designed and developed an information system for environmental analytical services. Functional information system implemented by 6 program blocks: input input data, modeling, analysis and forecasting, generating documents, integrators and report generator. The intelligent part of the system uses a semantic network that is fuzzy directed graph with vertices and edges marked. Decision-making is normalized by two methods. The first method is based on the utility of alternatives, and the second – on the risks of alternatives.

**Keywords:** environmental security, urban ecosystems, the impact of environmental health, mathematical modeling, information and analytical system.

НТБ  
ІФНТУНГ



an2475