

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ЗА АТМОСФЕРНИМ ФАКТОРОМ

Актуальність

Розвиток суспільства на сучасному етапі все більше залежить від вирішення проблем екологічної безпеки, захисту людини і довкілля від надмірного техногенного впливу. Стійкий розвиток і безпека – дві взаємопов'язані концепції, що мають важливе значення при виборі цілей і шляхів переходу до гармонійної взаємодії природи і суспільства.

Саме поняття ризику обумовлене імовірнісним уявленням про дію факторів середовища на стан складної системи. Величину ризику не можна виміряти безпосередньо, а можна лише з певною точністю оцінити, використовуючи кількісні характеристики чинників ризику і дані про їх вплив. Методи математичної статистики, що ґрунтуються на теорії імовірності, дозволяють враховувати ті невизначеності, які виникають в процесі виміру самих впливів і при оцінці зв'язків між впливом та ефектом.

Основні визначення

На сьогоднішній день в літературі зустрічається багато різних визначень терміну «екологічний ризик» [1 - 4]. Якщо йдеться про вплив техногенного об'єкту на довкілля, то **ризик** слід розглядати як імовірнісну міру небезпеки, що встановлює для тих або інших об'єктів (територій, екосистем) можливі втрати за певний час. У загальному випадку ризик визначається як функція міри небезпеки певних дій (природних і техногенних) і міри вразливості систем, на які вони впливають.

Ступінь небезпеки залежить від можливості впливу небезпечного процесу і його інтенсивності. **Уразливість** системи визначається як її властивість незворотно втрачати свої функції в певному діапазоні негативних дій (за кінцевий час).

З точки зору застосування поняття ризику в процесі аналізу та управління техногенною безпекою важливо визначити наступні категорії:

індивідуальний ризик – ризик, якому піддається індивідум в результаті впливу досліджуваних факторів небезпеки;

потенційний територіальний ризик – просторовий розподіл частоти реалізації негативного впливу певного рівня;

відносний ризик – залежність частоти подій, в яких постраждала на тому або іншому рівні кількість людей більше визначеної, від цієї певної кількості людей;

колективний ризик – очікувана кількість смертельно травмованих в результаті можливих аварій за певний період часу;

прийнятний ризик – рівень ризику, з яким суспільство в цілому готове миритися заради здобуття певних благ або вигод в результаті своєї діяльності.

У більшості країн світової спільноти в даний час підтримується концепція «прийнятного ризику» (ALARA – as low as risk acceptable), що дозволяє використовувати принцип «передбачати і попередити».

У «Посібнику користувача» програмного комплексу «RISK ASSISTANT для Windows» [4], призначеного для визначення ризиків для здоров'я населення від канцерогенних і неканцерогенних шкідливих речовин, наводяться моделі і формули для розрахунку кількостей (концентрацій) шкідливих речовин, що потрапляють в організм людини за різноманітними сценаріями.

Постановка задачі

Переходячи до екологічного ризику (EP), розглядатимемо техногенні і природні процеси як джерело небезпеки, а досліджувані екосистеми (території) – як об'єкт впливу. Тоді **екологічний ризик** можна визначити як імовірнісну міру негативних змін в екосистемі, яка обумовлена господарською діяльністю людини і (або) розвитком небезпечних природних процесів. В цьому випадку EP слід розраховувати як функцію, принаймні, двох змінних: міри небезпеки процесів, що діють на екосистему і міри уразливості даної екосистеми.

Початкові умови при рішенні задачі у вказаній постановці передбачають, що необхідно оцінити міру небезпеки природних і техногенних процесів, що діють на екосистему, в певних просторових кордонах і оцінити уразливість аналізованої екосистеми в полі цих процесів. Таким чином, рішення задачі вимагає аналізу двох незалежних ознак в двох незалежних системах координат: простір – час.

Просторова система координат дає можливість оцінити масштаб техногенного впливу на територію. В цьому випадку постає задача виявлення максимальних зон впливу техногенних об'єктів на територію і населення, що проживає на цій території.

Для кількісної оцінки техногенного впливу розглянемо ризик R , що визначається як добуток імовірності P несприятливої події (аварії, катастрофи і т.д.) і очікуваного збитку Y в результаті цієї події [3]. Якщо розглядається декілька (i) несприятливих подій з різними імовірностями P_i і відповідними збитками Y_i , то ризик розраховується у вигляді суми

$$R = \sum_i P_i Y_i . \quad (1)$$

Відповідно логіці визначення ризику за вказаною формулою, можна також записати вираз для ризику у вигляді інтеграла:

$$R = \int F(Y) p(Y) dY , \quad (2)$$

де $F(Y)$ – вагова функція втрат, за допомогою якої наслідки різної природи приводяться до єдиної (вартісної) оцінки збитку;

$p(Y)$ - щільність розподілу випадкової величини Y .

У такому вигляді ризик розглядається як міра небезпеки та фактично визначається як математичне очікування збитку або втрат. Так, в методиках оцінки комплексного ризику для населення від надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру ризик як математичне очікування ураження людей $M[N]$ в межах деякої території (міста або регіону) визначається за формулою:

$$R = M[N] = P \int \int_{S_r, \Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} P(\Phi) \psi(x, y) f(x, y, \Phi) d\Phi dx dy, \quad (3)$$

де P – імовірність аварії або надзвичайної ситуації (НС), в результаті якої виникає уражаючий фактор, що характеризується параметром Φ (наприклад, інтенсивність випромінювання, надлишковий тиск, токсична доза і тощо);

S_r — область інтегрування (наприклад, територія міста);

Φ_{\min} , Φ_{\max} — відповідно мінімально і максимально можливе значення параметру вражаючого фактора;

$P(\Phi)$ — імовірність ураження людей залежно від Φ як від параметра (часто задається у вигляді функції нормального розподілу від пробіт-функції параметра Φ);

$\psi(x, y)$ — щільність населення в межах даної площадки;

$f(x, y, \Phi)$ — щільність розподілу інтенсивності параметра Φ в межах площадки з координатами (x, y) .

У загальному випадку з урахуванням фактору часу ризик визначається як функціонал, залежний від реалізації випадкового процесу, який описує сценарій несприятливої події.

Таким чином, один і той же ризик може бути викликаний або високою імовірністю відмови з незначними наслідками (відмова однієї з систем автомобіля), або обмеженою імовірністю відмови з високим рівнем збитку (відмова системи на АЕС).

Методи дослідження

До оцінки наслідків впливу різних техногенних споруд можна застосувати різні методичні підходи:

- Геостатистичний підхід – аналіз законів просторового розподілу досліджуваних ознак.
- Біоіндикаційний метод, тобто аналіз зміни гомеостазу екосистеми, що оцінюється за порушенням морфогенетичних процесів на рівні окремих організмів.
- Візуально-дистанційний підхід, орієнтований на виявлення уражених територій за аерокосмічними знімками (аналіз даних дистанційного зондування).

У даній роботі використовується геостатистичний підхід, що включає сучасні ГІС-технології, які забезпечують просторове представлення досліджуваних територій у вигляді електронних екологічних карт. Результати багатовимірного статистичного аналізу відображаються на електронні карти, які будуються за кількісними значеннями екологічних показників [5]. Тобто, задача аналізу ризиків з позиції геостатистичного підходу зводиться до відтворення і візуального представлення рельєфу статистичної поверхні на основі чисельних значень показників в опорних точках з використанням сучасних ГІС-технологій [6].

Відзначимо, що статистичний підхід виступає тут перш за все як спосіб узагальнення інформації про множину даних, що дозволяє синтезувати уявлення про окремі елементи статистичної сукупності (зокрема, про дані моніторингу атмосфери) в цілісний образ – екологічну карту техногенних навантажень на місто або регіон.

Реалізація даного підходу передбачає також виявлення фактичної площі території підвищеного ризику, що обумовлений впливом конкретного техногенного об'єкту.

Ми будемо розрізняти реальний ризик і потенційний ризик. Реальний ризик зазвичай визначається при оцінці вже існуючої небезпеки. Потенційний ризик вказує на імовірність виникнення негативних наслідків для заданих природних умов і може бути використаний для оцінки якості навколишнього середовища у сфері впливу техногенних об'єктів.

Для дослідження загальних закономірностей, пов'язаних з випадковим характером показників ризику, необхідно вказати інформацію про появу різних значень цих величин в процесі аналізу. Цю інформацію для випадкової величини w можна задати за допомогою функції розподілу імовірностей $F(x)$, яка для будь-якого значення x вказує імовірність того, що випадкова величина w не перевищує x . $F(x)$ – це неспадна функція, всі значення якої знаходяться в інтервалі $[0, 1]$.

Для оцінки негативних наслідків (ризиків), пов'язаних з впливом техногенних джерел забруднення на атмосферу міста, що визначаються на основі даних моніторингу атмосфери скористаємося алгоритмом оцінки потенційного ризику [7], який включає наступні етапи:

1. Аналіз простору випадкових подій.

Дані екологічного моніторингу атмосфери будемо розглядати як множину із n спостережень, кожне з яких представлено m параметрами, які вимірюються на пунктах спостережень [8]. Тобто, вихідні дані представлено як багатовимірний простір подій, що включає точки-спостереження з координатами, які відповідають кількісним значенням показників забруднення атмосфери. Як випадкові події можна визначити будь-які підмножини вихідної множини спостережень.

Якщо показники, що визначають ризик, відомі заздалегідь і є параметрами простору подій, то другий етап роботи алгоритму спрощується.

В цьому випадку для аналізу несприятливих подій можна розглядати окремі підпростори (проекції розмірності 2 або 3) простору вихідних параметрів.

Інакше необхідно знизити розмірність простору подій за допомогою методів факторного аналізу або багатовимірного шкалювання.

2. Візуальна інтерпретація факторного простору.

Після зниження розмірності простір випадкових подій набуває візуальної інтерпретації, зручної для семантичного аналізу на екрані монітору. Множина подій може бути візуалізована як розмита хмара, окремі скупчення точок або їх довільні конфігурації.

Нагадаємо, що питання, пов'язані з використанням методів багатовимірного аналізу даних для зниження розмірності і візуальної інтерпретації екологічних даних, детально розглядаються в роботі [5].

Виділені фактори утворюють семантичні шкали, за допомогою яких можна оцінити окремі спостереження. Кожен з факторів об'єднує декілька показників як більш складну ознаку. Він може бути проінтерпретований відповідно до того сенсу, який він узагальнює в даній конкретній ситуації. В результаті отримуємо семантичний простір заданої розмірності (2 або 3).

3. Якісна інтерпретація окремих подій.

Із усієї сукупності можливих подій виділимо ті події, які можуть мати якісну інтерпретацію. Як правило, на цьому етапі необхідне залучення експертних знань про предметну область, щоб встановити зв'язки між чисельними значеннями показників і тими класами, в які потрапляють спостереження. Кожна група спостережень може бути інтерпретована як окреме поняття. В нашому випадку виділені групи відповідають різним рівням забруднення атмосфери.

4. Оцінка ступеня ризику, пов'язаного з кожною подією.

Кожному з виділених класів спостережень слід привласнити певне значення ризику. Ступінь ризику, пов'язану з випадковою подією, бажано оцінювати в рамках певної системи знань (еталонних подій або прототипів). Приклади таких систем були розроблені згідно з методологією ЕРА [4, 5]. В більшості випадків системи еталонів засновані на емпіричних даних, що пов'язують свідчення медичних обстежень з ризиком виникнення тих або інших захворювань.

Запропонований алгоритм дозволяє також дати оцінку потенційного ризику, пов'язаного з можливою зміною ситуації. Ситуація в даному контексті представлена як набір параметрів, тобто за рахунок зміни значень окремих показників істотно змінюється зміст ситуації в цілому. Корегуючи значення параметрів відповідно до можливих сценаріїв розвитку небезпечної ситуації (наприклад, зміни метеорологічних умов), можна побудувати оцінки потенційного ризику для різних варіантів забруднення атмосфери.

5. Побудова карт для візуалізації просторового розподілу ризиків.

Для відображення розподілу територіального ризику у вигляді екологічних карт використовуються геостатистичні методи інтерполяції

безпервної статистичної поверхні на основі опорних точок (значень в пунктах спостережень) та програмні засоби, що реалізують ці методи [6].

Загальна схема аналізу даних моніторингу та визначення ризику від техногенних джерел забруднення зображена на рис. 1.

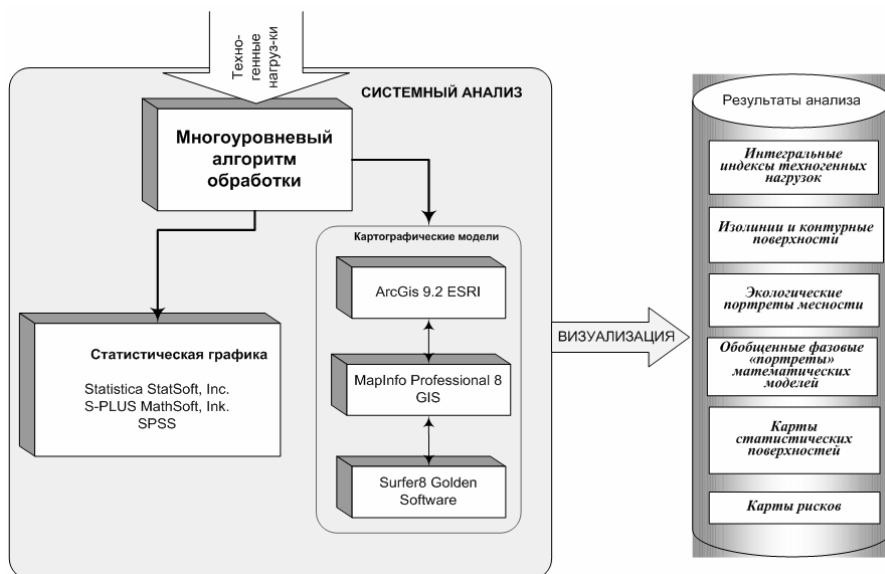


Рис. 1. Схема аналізу атмосферних ризиків

Визначення ризику токсичних ефектів

Для оцінки негативної дії техногенного забруднення атмосфери на здоров'я населення прилеглих територій, що може реалізуватися у формі негайних токсичних ефектів або хронічних проявів (у тому числі – канцерогенних та імунотоксичних), запропоновано дві групи моделей: порогові і безпорогові [3, 4]

Як відомо, гостра токсичність (негайні токсичні прояви) має яскраво виражений пороговий характер. Для оцінки ризику негайних токсичних ефектів використовується модель індивідуальних порогів впливу. Стосовно забруднення атмосфери ця модель може бути представлена наступною формулою:

$$RI_3 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a+b \lg c} \exp(-\tau^2 / 2) d\tau$$

де a і b - параметри, що залежать від токсикологічних властивостей речовини;

c — концентрація токсиканта в атмосфері;

τ — параметр інтегрування.

Ризик токсичних ефектів, розглянутий вище, представляє умовний індивідуальний ризик, що характеризує імовірність летального результату або захворювання при реалізації механізму впливу за формулою (3) для територіального потенційного ризику.

Значення коефіцієнтів a і b в наведеній формулі визначаються на підставі спеціальних токсикологічних досліджень властивостей речовин і наводяться в спеціальній літературі. Для виконання практичних розрахунків є доцільним зв'язати коефіцієнти a і b із значеннями традиційних параметрів, що застосовуються для характеристики токсичності речовин і нормування їх вмісту в об'єктах довкілля, таких, як клас токсичності речовини, гранично допустимі концентрації (ГДК) тощо. В роботі [5] запропоновано наступний варіант формули ризику токсичних ефектів:

$$RI_3 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a+b \lg(c/GDK_{м.р})} \exp(-\tau^2 / 2) d\tau,$$

де $GDK_{м.р}$ - гранично допустима максимальна разова концентрація хімічної речовини в повітрі населених пунктів (мг/м³). Значення параметрів a и b рекомендовані для проведення розрахунків, наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Значення емпіричних коефіцієнтів для оцінки ризику

Клас небезпечності речовини	Характеристика речовини	a	b
1-й	Надзвичайно небезпечні	-9,15	11,66
2-й	Високонебезпечні	-5,51	7,49
3-й	Помірно небезпечні	-2,35	3,73
4-й	Малонебезпечні	-1,41	2,33

Оцінка ризику, отримана за наведеним алгоритмом, передбачає реалізацію сценарію, за яким населення піддається дії токсиканта, що має концентрацію в повітрі c (мг/м³), а час експозиції (час перебування в забрудненій атмосфері) не менше 30 хв.

Результати досліджень

На основі реальних даних моніторингу забруднення атмосфери міста Києва було розраховано рівні екологічного ризику для населення за атмосферним фактором. Для оцінки ризиків проводився багатовимірний аналіз даних моніторингу, що вимірювались на 15 пунктах спостереження, де визначався 21 показник шкідливих домішок [8].

На рис.2 представлено розподіл рівнів екологічного ризику для території міста за атмосферним фактором. Одержані рівні ризику нанесено на карту Києва як контури із заливкою, колір яких відповідає значенням багатовимірної шкали, побудованої для 7 небезпечних забруднювачів.

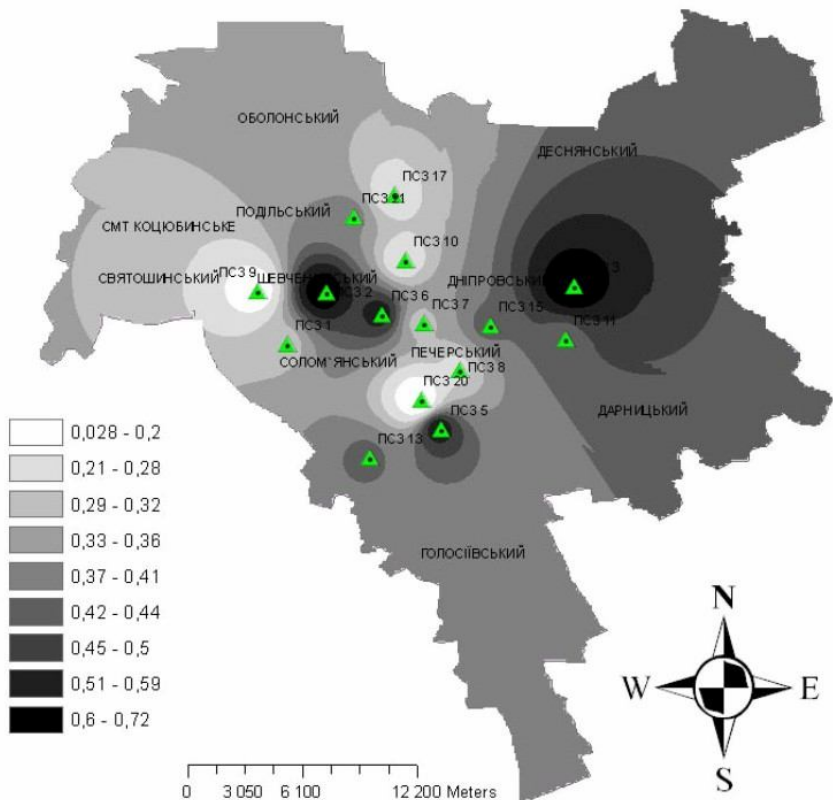


Рис. 2. Карта просторового розподілу рівнів атмосферного ризику для міста Києва (серпень 2005 року).

На основі даних моніторингу атмосфери за липень 2007 року було розраховано індивідуальні ризики для населення міста, пов'язані з підвищенням концентрації діоксида азота в атмосфері (рис. 3). Розрахунки показали, що практично для всієї території міста атмосферні ризики перевищували значення прийняттого ризику, який становить 10^{-6} . Хоча для обчислення ризиків було враховано тільки один забруднювач – діоксид азоту, окремі значення ризиків наблизились до 0,2. В імовірнісній інтерпретації це означає, що в липні 2007 р. рівень забруднення атмосфери створював реальну загрозу для населення, адже 20 відсотків населення відповідних територій одержало небезпечні дози токсичних речовин.

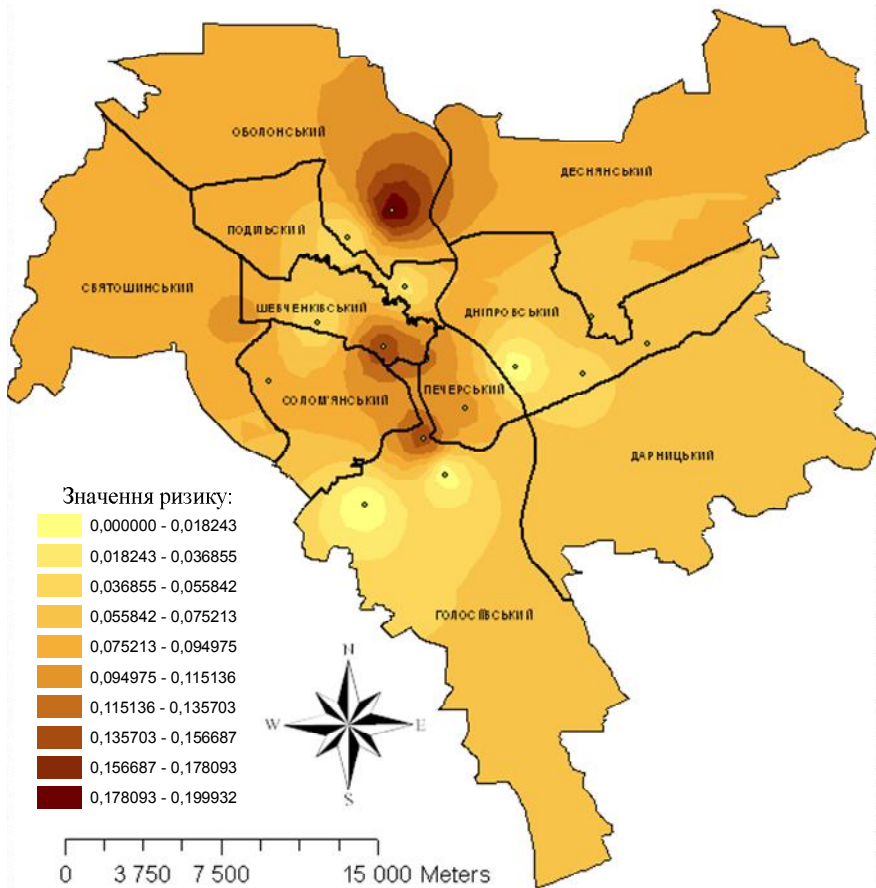


Рис. 3. Карта просторового розподілу індивідуальних ризиків для населення міста Києва (липень 2007 року).

Висновки

Розглядається загальний підхід до визначення ризиків різного походження, що базується на імовірнісних оцінках поведінки складних систем. На семантичному рівні окремі екологічні ситуації можна характеризувати через наявність або відсутність небезпеки. Для кількісної оцінки ступеня небезпеки визначаються імовірнісні оцінки потенційного ризику, які обчислюються на основі даних екологічного моніторингу.

Для визначення потенційного ризику за атмосферним фактором розроблено алгоритм оцінки територіального розподілу ризиків, що включає багатовимірний аналіз даних моніторингу та їх змістовну інтерпретацію у вигляді екологічних карт ризиків. Екологічний ризик для декількох показників оцінюється на основі багатовимірних екологічних шкал.

Для розрахунку ризиків негайних токсичних ефектів, зумовлених атмосферним забрудненням, обрано модель індивідуальних порогів впливу. На основі даних моніторингу атмосфери розраховано ризики токсичних ефектів для населення міста Києва, обумовлені високими концентраціями діоксиду азоту в атмосфері міста в липні 2007 року.

В даний час питання, пов'язані з визначенням і оцінкою ризиків, носять дискусійний характер. У зв'язку з цим запропонований підхід можна розглядати як перспективний напрямком для створення загальної теорії ризику. В той же час, він орієнтований на вирішення прикладних задач математичного і комп'ютерного моделювання складних ситуацій, де оцінки ризику розглядаються як важливий критерій для прийняття рішень і управління природним середовищем.

1. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування об'єктів підвищеної небезпеки – К.: Основа, 2003. – 192 с.
2. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. – М.: Наука, 2000. – 431 с.
3. *Алымов В.Т., Тарасова Н.П.* Техногенный риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 118 с.
4. *Большаков А. М., Крутько В. Н., Пуцлло Е. В.* Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 256 с.
5. *Сердюцкая Л.Ф., Каменева И.П.* Системный анализ и математическое моделирование медико-экологических последствий аварии на ЧАЭС и других техногенных воздействий. – К.: «Медэкол», 2000. – 173 с.
6. *Джонсон К.* ArcGIS Geostatistical Analyst. Руководство пользователя. – М.: Дата+, 2001. – 278 с.
7. *Каменева И. П.* Просторово-семантические модели репрезентации знаний в геоэкологических исследованиях // Геоинформатика. – 2005. – № 4. – С. 64 – 69.
8. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області. К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2005 – 2007 рр.