

*Досліджено геостатистичні моделі моніторингу забруднення повітря на основі статистичних даних про викиди у повітря та здійснено інтелектуальний аналіз геостатистичних даних. Запропоновано застосування гравітаційних моделей взаємодії між джерелами забруднення разом з вітровим переносом для отримання більш об'єктивного розподілу забруднення. Здійснено геостатистичне моделювання полів розподілу забруднення для території Донецької області (Україна)*

*Ключові слова: інтелектуальний аналіз, геостатистика, гравітаційна модель, атмосферне забруднення, географічні інформаційні системи*

*Исследованы геостатистические модели мониторинга загрязнения воздуха на основе статистических данных о выбросах в атмосферу и осуществлен интеллектуальный анализ геостатистических данных. Предложено применение гравитационных моделей взаимодействия между источниками загрязнения вместе с ветровым переносом для получения более объективного распределения загрязнения. Осуществлено геостатистическое моделирование полей распределения загрязнения для территории Донецкой области (Украина)*

*Ключевые слова: интеллектуальный анализ, геостатистика, гравитационная модель, атмосферное загрязнение, географические информационные системы*

УДК 681.325

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47889

# РОЗРОБКА ГЕОСТАТИСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

**В. В. Путренко**

Кандидат географічних наук,  
старший науковий співробітник  
Навчально-наукового комплекс «Інститут  
прикладного системного аналізу»\*

E-mail: putrenko@wdc.org.ua

**В. О. Тихоход**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра автоматизації проектування  
енергетичних процесів і систем  
теплоенергетичного факультету\*

E-mail: tikhokhod@mail.ru

\*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

## 1. Вступ

Забруднення атмосферного повітря в Україні є однією із найбільш гострих екологічних проблем. Особливо це стосується регіонів та населених пунктів з великими промисловими підприємствами. Для визначення екологічного навантаження промисловості на навколишні регіони та підтримки прийняття управлінських рішень щодо покращення екологічного стану повинен проводитись постійний моніторинг викидів забруднюючих речовин та моделювання зон високої концентрації забруднюючих речовин в атмосфері. Тому актуальною є розробка систем моніторингу та моделювання і класифікації зон забруднення атмосферного повітря, а також аналізу взаємодії показників забруднення атмосферного повітря населених пунктів між собою.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Збір даних забруднення атмосферного повітря здійснюється державною гідрометеорологічною службою (МНС) у містах України на стаціонарних, маршрутних постах спостережень та станціях транскордон-

ного переносу. Для комплексної оцінки екологічної безпеки вимагається обробка цих даних та подання їх у зручній формі відповідним фахівцям, які вже проводять інтерпретацію підсумкових даних. Оскільки дані про забруднення повітря містять геопросторову та статистичну компоненту, то доцільним є реалізація на базі системи моніторингу на базі геоінформаційної моделі.

В галузі інтелектуального аналізу даних в Україні широко відомі роботи Інституту прикладного системного аналізу НТУУ «КПІ», Світового центру даних з геоінформатики та сталого розвитку, в яких викладено базові основи системного аналізу, в тому числі досліджено моделі забруднення навколишнього середовища [1], та вивчено основні методи інтелектуального аналізу даних [2].

Прикладні моделі геостатистичного аналізу були вивчені в роботі [3]. Подальшим розвитком цих досліджень стала робота [4], в якій досліджено підходи до геостатистичного моделювання із використанням варіаграмних моделей. Дослідження з проведення мультиваріантного аналізу, які дозволяють проводити відбір варіантів аналізу викладено в [5]. Прикладні роботи з використання методів геостатистики при дослідженні навколишнього середовища та екологічних

проблем викладено в праці [6]. Більшість описаних методів призначені для роботи з безперервними розподілами геостатистичних показників в навколишньому середовищі, тому механізми обробки дискретних величин потребують подальшого вдосконалення.

Моделювання забруднення атмосферного повітря в Україні зосереджено на порівнянні існуючих програмно-моделюючих комплексів аналізу стану повітря [7], виконанні статистичних досліджень забруднення повітря на регіональному рівні, але без застосування методів геостатистичного моделювання [8]. Математичні методи моделювання забруднення повітря досліджені в роботі [9]. Питання використання геоінформаційних технологій при реалізації моніторингу повітря викладено в роботі [10]. Також були проведені дослідження картографування статистичних поверхонь засобами геоінформаційних систем [11]. Проте відкритою залишається проблема врахування взаємодії та взаємного посилення викидів від різних джерел в атмосферне повітря.

### 3. Ціль та задачі дослідження

Метою дослідження є апробація методів інтелектуального аналізу геопросторових даних на прикладі геостатистичних та гравітаційних моделей забруднення атмосферного повітря.

Завданнями дослідження є:

- визначення поняття «моніторинг атмосферного повітря», його структури, видів та функціонального призначення;
- аналіз застосування гравітаційних моделей для аналізу розподілу забруднення від стаціонарних джерел у повітрі;
- побудова та інтелектуальний аналіз геостатистичних моделей забруднення на основі математичних моделей інтерполяції.

### 4. Підходи до визначення моніторингу забруднення атмосферного повітря

Сучасні геоінформаційні системи, такі як ESRI ArcGIS, MapInfo, Quantum GIS не містять в своєму складі інструменти для проведення моніторингу показників забруднення повітря шкідливими речовинами, тому існує необхідність в створенні таких програмних застосунків із використанням сучасних методів геостатистичного аналізу.

Система моніторингу забруднення атмосферного повітря в Україні повинна дозволити моделювати та аналізувати потоки забрудненого атмосферного повітря.

Моніторинг (англ. monitoring, від лат. monitor – той, що попереджує, контролює) довкілля – система спостереження і контролю за природними, природно-антропогенними комплексами, процесами, що відбуваються у них, навколишнім середовищем загалом з метою раціонального використання природних ресурсів і охорони довкілля, прогнозування масштабів неминучих змін [12].

За міжнародним стандартом ISO 4225, моніторинг – це:

- багаторазове вимірювання для спостереження за змінами будь-якого параметра в певному інтервалі часу;
- система довготривалих спостережень, оцінювання, контролювання і прогнозування стану і зміни об'єктів.

Залежно від призначення здійснюються загальний (стандартний), оперативний (кризовий) та фоновий (науковий) моніторинг навколишнього природного середовища [12].

Система державного моніторингу навколишнього природного середовища створюється на трьох рівнях:

- локальному – на території окремих об'єктів (підприємств, міст, ділянках ландшафтів);
- регіональному – у межах адміністративно-територіальних одиниць, на територіях економічних і природних регіонів;
- національному – на території країни в цілому [13].

В такому контексті моніторинг атмосферного повітря – це система спостережень за станом атмосфери, його забрудненням і природними явищами, які відбуваються в ньому, а також оцінка і прогноз стану атмосферного повітря (контроль, аналіз, висновки).

Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря проводиться з метою отримання, збирання, оброблення, збереження та аналізу інформації про рівень забруднення атмосферного повітря, оцінки та прогнозування його змін і ступеня небезпечності та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі охорони атмосферного повітря (ст. 32 Закону України «Про охорону атмосферного повітря» [14]). Він є складовою частиною державної системи моніторингу довкілля України.

Інформацію про вміст забруднювальних речовин в повітрі надає мережа служби моніторингу. Відповідальність за її організацію покладена на Держкомгідромет України.

При організації спостережень за станом повітря використовують попередні дослідження, які передбачають обстеження території (метеорологічні умови, вміст забруднювачів) за допомогою пересувних лабораторій, що здійснюють відбір та аналіз проб з метою вивчення розміщення діючих джерел забруднення та перспектив розвитку промисловості [7].

У зв'язку з викладеним зростає значення науково-методичного й комп'ютерного забезпечення завдань моніторингу, комплексної оцінки забруднення атмосфери та визначення рівня екологічного ризику для окремих територій, де вирішальну роль відіграють сучасні ГІС-технології й геоінформаційні системи, що забезпечують просторове відображення територіальних об'єктів у вигляді електронних екологічних карт.

Функціональна схема геоінформаційної системи моніторингу складається з підсистеми збору даних засобами дистанційного зондування, даних наземних спостережень, статистичних даних; підсистеми збереження даних на основі систем керування базами геоданих, підсистеми інтеграції даних, яка дозволяє аналізувати та візуалізувати дані за допомогою геоінформаційних та геостатистичних методів; підсистеми публікації результатів аналізу у вигляді картографічних, табличних матеріалів та звітів.

Донецька область є крупним промисловим регіоном України, в якому налічується декілька тисяч

великих промислових підприємств, виробничо-промислових об'єднань і підприємств.

Висока концентрація промислового і сільськогосподарського виробництва, транспортної інфраструктури, у поєднанні з високою щільністю населення, створили надзвичайно високе техногенне і антропогенне навантаження, що призводить до погіршення якості атмосферного повітря за рахунок великої кількості викидів забруднюючих речовин.

За існуючою системою збору даних статистична інформація найбільш детальною і повно описує обсяги та розташування основних джерел викидів в атмосферне повітря. Для моделювання забруднення повітря були вибрані населені пункти Донецької області та отримані статистичні дані про викиди від стаціонарних джерел у навколишнє середовище у населених пунктах в 2013 році.

### 5. Інструментарій розробки ArcObjects SDK

Для розробки програмного застосунку була використана геоінформаційна система ESRI ArcGIS 10, яка відноситься до сімейства програмних продуктів компанії ESRI, одного з лідерів світового ринку геоінформаційних систем. ArcGIS побудована на основі технологій COM, .NET, Java, XML, SOAP.

ArcGIS 10 була обрана оскільки дозволяє візуалізувати (представити у вигляді цифрової карти) великі обсяги статистичної інформації, що мають географічну прив'язку.

Оскільки для вирішення проблеми моніторингу атмосферного повітря потребується робота з растровими даними, то було використане розширення ArcGIS Spatial Analyst, яке надає багатий вибір інструментів просторового аналізу і моделювання як для растрових (на основі осередків), так і для векторних даних.

У версії ArcGIS 10 існує інструментарій розробника програмного забезпечення (SDK) для ArcObjects. Він поєднує в собі все те, що раніше містилось в ArcGIS Desktop і ArcGIS Engine .NET SDK, разом з ArcObjects, що використовується для ArcGIS Server.

ArcObjects SDK для NET включає в себе документацію, зразки, інструменти для розробників, та візуальні шаблони [12]. Вона зосереджена на наступних трьох основних категоріях ArcObjects додатків:

- розробка надбудов для ArcGIS Desktop;
- розробка автономних застосунків;
- розробка за допомогою ArcGIS Server.

ArcGIS Desktop додатки дозволяють виконувати як прості, так і складні ГІС завдання, наприклад, відображення, географічний аналіз, збір даних, управління даними, візуалізація та обробка геоданих.

Введені в 10-й версії ArcGIS надбудови надають розробникам фреймворк для створення блоків користувацьких функцій в рамках одного стисненого файлу. Ці надбудови після завершення розробки можуть легко розповсюджуватись між користувачами, без необхідності встановлення програм або Component Object Model (COM) реєстрації. Надбудови можуть бути встановлені і видалені за допомогою Add-In менеджера в ArcGIS.

### 6. Алгоритм моделювання перерозподілу потоків повітря на основі гравітаційної моделі

Програмна система була розбита на 3 основні задачі, які потребують використання обчислювальних методів: моделювання перерозподілу забруднення у повітрі, інтерполяція даних для отримання зон забруднення, класифікація і виділення зон забруднення (рис. 1).



Рис. 1. Задачі інтелектуального аналізу даних про забруднення повітря

Використання методів геостатистичного моделювання можливе при континуальному розподілі даних. Статистичні масиви мають дискретну природу. Тому для отримання більш об'єктивної оцінки необхідна процедура переходу від дискретних до континуальних розподілів. З цією метою було запропоновано отримати нові значення розподілу, що з використанням гравітаційної моделі моделюють статистичну поверхню розподілу.

Для розв'язання задачі моделювання потоків забрудненого атмосферного повітря використаний наступний алгоритм:

1) для кожного населеного пункту будуються буфери в залежності від його площі (якщо площа населеного пункту більше 20 км<sup>2</sup>, то будуються буфер радіусом 20 км, якщо менше 20 км<sup>2</sup>, то буфер радіусом 10 км);

2) послідовно обирається населений пункт і буферна зона та виконується пошук населених пунктів, що входять в побудований буфер, розраховується відстань між ними;

3) на основі статистичних даних по шкідливим викидам в атмосферу будується гравітаційна модель для двох обраних міст і враховується поправка на вітер за допомогою рози вітрів для аналізованої області та швидкості вітру в результаті чого отримується новий корегований набір дискретних значень.

Гравітаційна модель – модель, що описує взаємодії між просторовими об'єктами (містами, регіонами, країнами). Вона використовується в регіональному і просторовому аналізі економіки. У різних модифікаціях такі ж моделі використовуються при дослідженні процесів урбанізації, розміщення промисловості, міграції населення [15].

Модель заснована на припущенні, що величина взаємодії пропорційна добутку показників значущості (величини, кількості) об'єктів і обернено пропорційна відстані між ними (1):

$$M_{i,j} = k \frac{P_i \cdot P_j}{d_{i,j}^2}, \tag{1}$$

де  $M_{i,j}$  – показник взаємодії між об’єктами  $i$  та  $j$ ;  $k$  – коефіцієнт відповідності;  $P$  – деяка міра значущості об’єкта (показник викидів забруднюючих речовин в атмосферу міста  $i$  та  $j$ );  $d_{i,j}^2$  – відстань між об’єктами.

Знаходження відстані між об’єктами для моделі з урахуванням напрямку та швидкості вітру виконується за допомогою поправочного коефіцієнту (2). Поправочний коефіцієнт ( $k_n$ ) розраховується за допомогою рози вітрів для населеного пункту і показнику швидкості вітру на території населеного пункту, румба – кількість днів (у відсотках) коли вітер дує у напрямку азимуту між НП.

$$k_n = \frac{P_{\text{румба}}}{100} \cdot \text{Швидкість} . \tag{2}$$

У результаті був сформований кінцевий варіант формули гравітаційної моделі (3), що має вигляд:

$$M_{i,j} = k \frac{P_i \cdot P_j}{k_n + d_{i,j}^2}, \tag{3}$$

Гравітаційна модель надає достатньо точну інформацію про зони, які страждають від викидів забруднюючих речовин у повітря.

### 7. Інтерполяція даних для отримання зон забруднення

У результаті застосування гравітаційного методу отримується масив дискретних значень, які містять поправки на вплив сусідніх джерел забруднення. Для візуального представлення даних у невідомих точках використовуються інтерполяційні методи.

Існують різні методи отримання для довільної точки прогнозованого значення. Для кожної методу існує цілий ряд припущень, які впливають з даних; деякі методи краще підходять для конкретних типів даних, наприклад, один метод може краще, ніж інший враховувати локальні зміни. Кожен метод прогнозує значення з використанням різних обчислень.

В геоінформаційному середовищі використовуються детерміновані та геостатистичні методи інтерполяції.

Метод середнього зважування обернено пропорційно відстані є видом растрової інтерполяції даних, який обраховує значення комірок за середнім від суми значенням точок замірів, що знаходяться поблизу кожної комірки. Чим ближче точка до центру оцінюваної комірки, тим більшу вагу має її значення у процесі обчислення середнього. Цей метод передбачає, що вплив значень виміряної перемінної зменшується пропорційно збільшенню відстані від точки заміру.

$$z(x_j) = \sum_{i=1}^n z(x_i) d_{ij}^{-r} / \sum_{i=1}^n d_{ij}^{-r}, \tag{4}$$

де  $x_j$  – точки (вузли), для яких повинна бути інтерпольована поверхня, а  $x_i$  – точки з відомими значеннями;  $d_{ij}$  – відстані («дистанції») між точками з відомими

значеннями і точкою оцінювання;  $r$  – показник ступеня;  $n$  – кількість точок з відомими значеннями, що потрапляють в окіл вузла оцінювання.

Отримані значення комірок можуть контролюватися зміною ступеня впливу на комірку сусідніх точок, зміною радіусу пошуку та встановленням бар’єрів. Інтерполяція цим способом геохімічних полів дозволяє отримати дані про загальний розподіл геохімічних полів, але точність значень комірок растру буде відрізнятись від вхідних значень.

Метод сплайнів розраховує значення комірок на основі математичної функції, що мінімізує кривизну поверхні, вираховує найбільш рівну поверхню, яка точно проходить через усі точки вимірів. Сплайни розраховуються на основі методів регуляризації, коли створюється більш плавна поверхня, що може виходити за межі діапазону замірів, та методу натягіння, коли поверхня найбільше наближена до існуючих значень.

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^n c_i B(h_{0i}), \tag{5}$$

де  $h_{0i}$  – відстань від точки  $x_0$  до точки  $x_i$ ;  $B(h_{0i})$  – базисна функція, що визначається від відстані;  $c_i$  – вагові коефіцієнти. Коефіцієнт  $c_i$  визначає алгебраїчний знак входження відповідного члена і ступінь його впливу. Класичний варіант методу є точним, але можливо введення параметру згладжування  $\delta$ .

Зазвичай використовуються такі типи базисних ядерних функцій:

$$\text{природний кубічний сплайн: } B(h) = (h^2 + \delta^2)^{1/2}; \tag{6}$$

$$\text{тонкий сплайн: } B(h) = (h^2 + \delta^2) \lg(h^2 + \delta^2). \tag{7}$$

Для налаштування інтерполяції методом сплайну застосовують параметри ваги та кількості точок, що приймають участь у розрахунках. Побудова сплайнів на основі регуляризації дозволяє отримати більш загальну картину розподілу хімічних елементів, на основі натягіння – чіткі територіальні абрисы з більш точними значеннями комірок.

Метод кригінгу відноситься до групи геостатистичних методів, заснованих на геомоделях, що містять автореляцію (статистичний зв’язок між вимірними точками). Тому цей спосіб дозволяє не тільки отримати розрахункову поверхню, але визначити значення точності чи достовірності розрахунку.

Для розрахунку за методом кригінгу необхідно виявити правила залежності і розрахувати прогнозні значення. При рішенні цих завдань створюються варіограми та коваріаційні функції для оцінки значення статистичних залежностей (просторової автокореляції) і визначаються прогнозні значення пустих комірок. Значення у точках складаються з:

$$z(x) = m(x) + \epsilon'(x) + \epsilon'', \tag{8}$$

де  $m(x)$  – детермінована функція, що описує «структурований» компонент  $z$  в  $x$  (тренд);  $\epsilon'(x)$  – регіоналізована змінна, що представляє локальні стохастичні, але просторово корельовані відхилення від  $m(x)$ , і  $\epsilon''$  – залишок, просторово незалежний гауссівський

шум. Тоді інтерполяція може бути отримана як зважена сума даних:

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i), \quad (9)$$

де  $z(x_0)$  – точка, в якій шукається значення,  $z(x_i)$  – значення в  $i$ -тій точці,  $\lambda_i$  – невідома вага для виміряного значення в  $i$ -тій точці,  $n$  – кількість опорних точок.

Метод кригінгу поділяється на ординарний кригінг, який застосовують у більшості випадків, та універсальний, який передбачає, що в даних є тенденція к домінуванню окремих значень. Універсальний кригінг використовують у випадках, коли відомо, що дані містять науково підтвержені тенденції.

Кригінг може надавати більш точні результати разом із засобами їх верифікації. У більшості випадків при середньомасштабному моделюванні геохімічних полів доцільно використовувати універсальний кригінг, який дозволяє виділяти та контролювати вплив просторових трендів на поширення показників. Слабкою стороною використання кригінгу є складність обробки даних та обмеження на роботу з аномальними значеннями.

У результаті аналізу методів було прийнято рішення про застосування методу кригінгу, оскільки цей метод працює з нерегулярно розподіленими даними і не вимагає від користувача додаткових даних окрім кількості класів.

Формула кригінгу схожа на метод середнього зважування обернено пропорційно відстані, але в даному випадку вага точки залежить від варіограми та просторових взаємозв'язків між опорними точками (9).

Її основними властивостями є те, що будучи місцевою, вона використовується тільки підмножини вхідних точок, які оточують точку запиту; інтерпольовані значення гарантовано будуть у межах діапазону використовуваних початкових точок. Вона не виводить тренди і не створюватиме піки, ями, ребра або точки мінімуму, які вже не представлені вхідними точками [16].

На рис. 2 продемонстровано принципи роботи методу кригінгу. Поверхня проходить через вхідні точки, і вона гладка усюди, крім місць розташування вхідних точок.

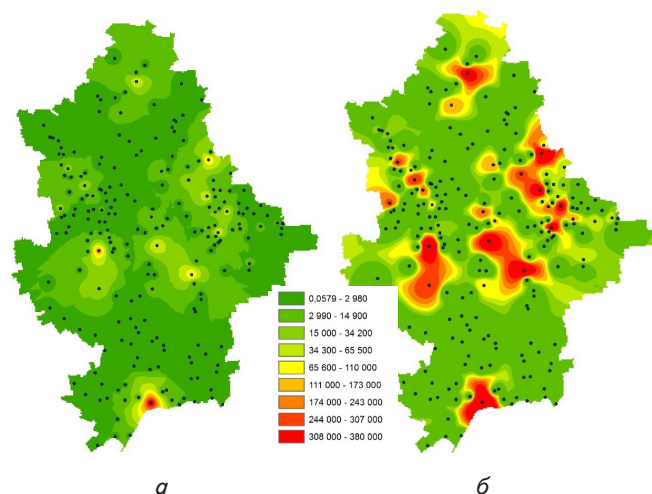


Рис. 2. Результати інтерполяції даних про викиди від стаціонарних джерел в Донецькій області в 2013 році:  
а – інтерполяція вхідних статистичних даних,  
б – інтерполяція перетворених на основі гравітаційної моделі даних

Порівняльний аналіз двох моделей вказує, що використання гравітаційної моделі при попередній підготовці даних дозволяє отримати більш об'єктивну оцінку розподілу викидів, оскільки враховує природний переніс повітряних мас та кумулятивний ефект взаємодії різних джерел викидів у просторі і часі.

## 8. Висновки

Моніторинг забруднення навколишнього середовища є обов'язковим компонентом екологічної безпеки держави. Охорона атмосферного повітря є одним із базових елементів такого моніторингу. Тому під поняттям моніторингу атмосферного повітря розуміється система спостережень за станом атмосфери, його забрудненням і природними явищами, які відбуваються в ньому.

Інтелектуальний аналіз геостатистичних моделей розподілу викидів на певній території дозволяє виявляти та класифікувати зони високих концентрацій забруднення та співставляти них з даними про якість повітря. Для обробки статистичних даних за населеними пунктами методами геостатистики існує необхідність у трансформації даних з дискретної до континуальної форми представлення. З цією метою використовуються гравітаційні моделі, які дозволяють врахувати кумулятивний ефект викидів з близько розташованих джерел забруднення з однієї сторони та згладити різницю між малими та великими джерелами.

Обрахування на прикладі Донецького регіону геостатистичної поверхні викидів методом інтерполяції кригінгу із застосуванням первинних статистичних та гравітаційно перетворених даних дозволяє отримати більш об'єктивну оцінку регіонального розподілу викидів та вказує на значно більшу площу території, яка знаходиться під впливом значного забруднення повітря. Застосування гравітаційної моделі дозволило врахувати ефект від взаємодії сусідніх потужних джерел викидів, що характерно для міських агломерацій, та показати вплив викидів на сусідні населені пункти з врахуванням напрямку та сили повітряного переносу.

Подальші дослідження можуть бути пов'язані з удосконаленням методики геостатистичного аналізу даних та методів прогнозування розподілу забруднення.

## Література

1. Згуровський, М. З. Интеллектуальный анализ и системное согласование научных данных в междисциплинарных исследованиях [Текст] / М. З. Згуровський, А. О. Болдак, К. В. Єфремов // Кибернетика и системный анализ. – 2013. – № 4. – С. 62–75.
2. Згуровський, М. З. Системный анализ: Проблемы, методология, приложения [Текст] / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К.: Наук. думка, 2005. – 743 с.
3. Isaaks, E. H., Srivastava R. M. An Introduction to Applied Geostatistics [Text] / E. H. Isaaks, R. M. Srivastava. – Oxford: Oxford Univ. Press, 1989. – 592 p.
4. Clark, H. W. A Practical Geostatistics 2000 [Text] / H. W. Clark. – Publ. by Geostokos Ecosse, 2004. – 440 p.
5. Wackernagel, H. Multivariate Geostatistics [Text] / H. Wackernagel. – Springer, 2003. – 403 p.

6. Webster R. Geostatistics for Environmental Scientists [Text] / R. Webster, M. O. Oliver. – John Wiley & Sons, 2000. – 286 p.
7. Яцишин, А. В. Моделювання якості атмосферного повітря та відповідні моделюючі системи [Текст] / А. В. Яцишин // Моделювання та інформаційні технології. – 2012. – Вип. 63. – С. 10–18.
8. Гуцук, І. В. Еколого-гігієнічна характеристика та прогноз забруднення атмосферного повітря Рівненської області [Текст] / І. В. Гуцук, М. О. Клименко, В. І. Долженчук // Вісник НУВГП. – 2010. – № 1 (49). – С. 1–17.
9. Бойко, В. В. Аналіз методів математичного моделювання розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері [Текст] / В. В. Бойко, Л. Д. Пляцук // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2010. – № 6 (65), Ч. 2. – С. 148–151.
10. Зацерковний, В. Концепція застосування геоінформаційних технологій у моніторингу повітря Чернігівської області [Текст]: зб. наук. пр. / В. Зацерковний, С. Кривоберець, Ю. Сімакін // Сучас. досягнення геодез. науки та вир-ва. Зах. геодез. т-ва УТГК. – 2011. – Вип. 1. – С. 173–177.
11. Каменева, И. П. ГИС-технологии построения экологических карт статистических поверхностей [Текст]: зб. наук. пр. / И. П. Каменева, А. В. Яцишин, Д. А. Полишко, А. А. Попов, Бахурець Т. В. // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – 2008. – № 49. – С. 81–88.
12. Величко, О. М. Екологічний моніторинг [Текст]: навч. пос. / Д. В. Зеркалов, О. М. Величко. – К.: Науковий світ, 2001. – 205 с.
13. Природоохоронні технології. Частина перша. Захист атмосфери [Текст]. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 373 с.
14. Про охорону атмосферного повітря [Текст]. – Закон від 16.10.1992р. № 2707-XII. – 17 с.
15. Sen, A. Gravity Models of Spatial Interaction Behavior [Text] / A. Sen, T. Smith. – Springer Science & Business Media, 2012. – 572 p.
16. ArcGIS Geostatistical Analyst: руководство пользователя [Текст]. – М., 2001. – 219 с.

*Проведено аналіз основних видів проектів, що фінансуються Світовим банком. Визначено механізм екологічної та соціальної оцінки проектів відповідно до умов фінансування Світового банку. Визначено нормативно-правові вимоги до соціально-екологічного впливу проектної діяльності. Здійснено екологічну та соціальну оцінку проекту реконструкції автомобільної дороги М-03 Київ-Харків-Довжанський на ділянці від м. Бориспіль до м. Лубни*

*Ключові слова: Світовий банк, автомобільна дорога, навколишнє середовище, екологічний вплив, соціальний вплив, викиди шкідливих речовин*

*Проведен анализ основных видов проектов, финансируемых Всемирным банком. Определен механизм экологической и социальной оценки проектов в соответствии с условиями финансирования Всемирного банка. Определены нормативно-правовые требования к социально-экологическому воздействию проектной деятельности. Осуществлена экологическая и социальная оценка проекта реконструкции автомобильной дороги М-03 Киев-Харьков-Довжанский на участке от г. Борисполь до г. Лубны*

*Ключевые слова: Всемирный банк, автомобильная дорога, окружающая среда, экологическое воздействие, социальное влияние, выбросы вредных веществ*

УДК 625.72:504.06:004.4

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47887

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА СОЦІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ДОРОГИ

**В. О. Хрутьба**

Доктор технічних наук, доцент\*

E-mail: hrutba@mail.ru

**Г. О. Вайганг**

Кандидат технічних наук\*

E-mail: malko.anna.comp@mail.ru

**В. І. Зюзюн**

Асистент\*

E-mail: vadim1489\_@ukr.net

\*Кафедра екології та безпеки життєдіяльності  
Національний транспортний університет  
вул. Суворова, 1, м. Київ, Україна, 01010

### 1. Вступ

Забезпечення розвитку мережі автомобільних доріг та поліпшення їх транспортно-експлуатаційного стану є необхідною умовою для подальшого соціально-економічного розвитку держави і суспільства.

Станом на січень 2015 р. протяжність мережі автомобільних доріг в Україні становить 169,6 тис. кілометрів, її щільність 281 кілометр на 1 тис. кв. кілометрів, що, в основному, відповідає темпам роз-

витку національної економіки. Проте експлуатаційний стан автомобільних доріг потребує значного поліпшення, а дорожнє покриття подекуди вимагає повного оновлення. За даними науковців, щороку держава втрачає близько 30 млрд. гривень валового внутрішнього продукту через незадовільний стан автомобільних доріг [1].

Загальна сума фінансування дорожньої галузі України в поточному році становить понад 25,5 млрд. грн., з них 20,8 млрд. грн. – загаль-