

УДК 004.89

В. О. ДАВИДЕНКО

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ ГЕОМОДЕЛЕЙ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИЗЕМНОГО ШАРУ АТМОСФЕРИ ВИКИДАМИ ОТРУЙНИХ РЕЧОВИН

Робота присвячена розробці науково - обґрунтованого методологічного картографічного забезпечення підтримки рішень з питань управління заходами по ліквідації наслідків і попередженню надзвичайних ситуацій, пов'язаних із викидами в атмосферу газоподібних отруйних речовин. Пропонується інформаційна технологія попереднього геомодельовання наслідків викидів в атмосферу отруйних речовин, яка оснований на розрахунку топографічних параметрів зон ураження при найбільш ймовірних напрямках і швидкостях вітру на момент викиду. При цьому розрахунку широко використовуються бази атрибутивних даних про джерела і метеорологічні умови на момент викиду, а також програмні сервіси геоінформаційних систем.

**Ключові слова:** геоінформаційні системи, наслідки надзвичайних ситуацій, викиди отруйних речовин, геомоделі.

### 1. Зміст первинних даних математичної моделі розповсюдження газоподібних отруйних речовин в атмосферному повітрі

Математичне моделювання процесів переносу газоподібних отруйних речовин (ОР) в атмосфері та визначення їх просторового розподілу базується на використанні фізико-хімічних характеристик власне отруйних речовин, параметрів джерел їх викиду, а також напрямку і швидкості вітру на момент викиду, характеру рельєфу і забудови місцевості.

Процес поширення викидів в атмосфері відбувається за рахунок адвентивного переносу повітряними масами та дифузії, зумовленої як фізичними властивостями отруйних викидів так і турбулентністю повітряних мас. Спостереження за хмарою викиду показують, що спочатку хмара на виході із джерела підхоплюється повітряними масами на певну висоту з поступовим його розширенням при віддаленні від джерела в наслідок дрібномасштабної турбулентності потоків. Потім поступово збільшуючись вона розпадається на ізольовані вихрові утворення, які переносяться на значні відстані від джерела. Газоподібні отруйні речовини, які попадають в атмосферу, можуть вступати у фотохімічні реакції.

Математичний апарат моделювання розповсюдження газоподібних отруйних речовин в атмосфері є добре розробленим [1]. На практиці широко використовуються два відомі методи: напівемпіричне рівняння дифузії з відповідними коефіцієнтами та „гаусова” статистична модель факелу (рис. 1). В основу розробленої технології синтезу геомоделей забруднення приземного шару атмосфери викидами

отруйних речовин покладена математична модель розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері [1].

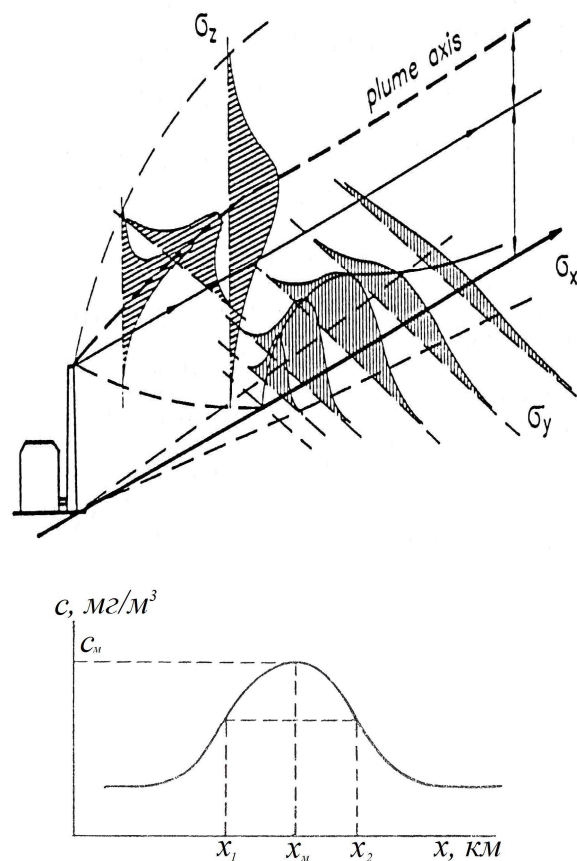


Рис. 1. Концепція „гаусової” статистичної моделі факелу поширення забруднюючих речовин від джерела викиду

В цій моделі зосереджене наземне джерело викиду газоподібних отруйних речовин, на класі яких зосередимося в даній роботі, уявляється як круглий отвір із 20-30 хвилинним осередненням витоків. В цьому випадку максимальне значення концентрації отруйного газу  $c_m$  (мг/м<sup>3</sup>) досягається на відстані  $x_m$  (м) від джерела і визначається формулою:

$$c_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}, \quad (1)$$

де  $A$  – коефіцієнт температурної стратифікації атмосфери;

$M$  (г/с) – маса отруйної речовини, яка витікає в одиницю часу;

$F$  – безрозмірний коефіцієнт, враховуючий швидкість осідання отруйних газів в атмосферному повітрі;

$m$  та  $n$  – коефіцієнти умов витоків отруйних речовин;

$H$  (м) – висота джерела викиду над рівнем землі, для наземних джерел  $H = 2$  м;

$\eta$  – безрозмірний коефіцієнт впливу рельєфу місцевості;

$\Delta T$  (°C) – різниця між температурою викиду отруйної речовини  $T_r$  і температурою атмосферного повітря  $T_b$ ;

$V_1$  (м<sup>3</sup>/с) – об'єм отруйних речовин, що потрапляють в атмосферне повітря за 1 сек.

Значення коефіцієнта  $A$  при метеорологічних умовах, коли концентрація отруйних речовин в атмосферному повітрі максимальна, приймається рівною 160.

Значення  $M$  (г/с) і  $V_1$  (м<sup>3</sup>/с) приймаються при умовах досягнення максимального значення  $c_m$ . При цьому розрізняють умови витоків отруйних речовин – вибух або витік, осереднений до інтервалу часу 20-30 хвилин.

Значення  $\Delta T$  (°C) – різниця середньої максимальної температури атмосферного повітря найбільш спекотного місяця року  $T_b$  (°C), (по Будівельним нормам і правилам (БНіП) 2.01.01-82) і температури викидів в атмосферу  $T_r$  (°C) (по діючим нормативам зберігання отруйних речовин).

Значення коефіцієнта  $F$  приймається рівним - 1.

Значення коефіцієнтів  $m$ ,  $n$  залежать від параметрів джерела і характеру викиду отруйних речовин і вираховуються по формулах, наведених в [1].

У випадку рівнинної або слабо розчленованої місцевості з перепадом висот до 50 м на 1 км.  $\eta = 1$ .

В інших випадках значення коефіцієнту  $\eta$  розраховують по відповідних формулах із [1].

При відсутності вітру і значенні  $\eta = 1$  характер просторового розподілу концентрації визначеної отруйної речовини ілюструється на рис. 2.

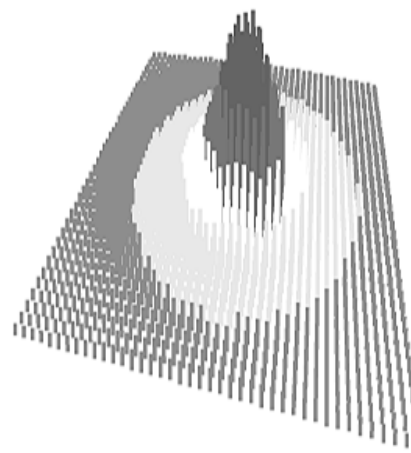


Рис. 2. Розподіл концентрацій забруднюючої речовини в приземному шарі атмосфери

В двовірному вимірі такий характер розподілу концентрації отруйної речовини, в приземному шарі атмосфери при умовах відсутності вітру, рівнинної місцевості без будівель і лісових насаджень з перепадом висот до 50 м. на 1 км., на прикладі умовного викидів 100 м. куб. діоксиду азоту ілюструється на рис. 3.

Зрозуміло, що в реальних ситуаціях витоків отруйних речовин, які спричинені розгерметизацією ємностей при надзвичайних ситуаціях - пожежах, вибухах, аваріях на транспорті, т. і. в математичних моделях із [1] необхідно урахувати параметри чинників, які впливають на закономірності розповсюдження в атмосферному повітрі отруйних речовин, а саме: характер рельєфу, особливості забудови місцевості, напряму і швидкості приземного вітру. При цьому, просторовий розподіл концентрацій отруйних речовин буде суттєво відрізнятися від концентричних кіл і мати форму факела викиду.

Напряму осі факела викиду залежить від напряму вітру, а розподіл концентрацій отруйних речовин впродовж і поперек осі – від його швидкості. Розрахунок цих концентрацій в зоні конусу виносу при відповідному характері місцевості, виконують по формулах із [1] ліцензійною комп'ютерною програмою ЕОЛ 2000 (Copyright © 1997-2011 ТОВ «Софт фонд»), яку можна замовити в Міністерстві екології та природних ресурсів України.

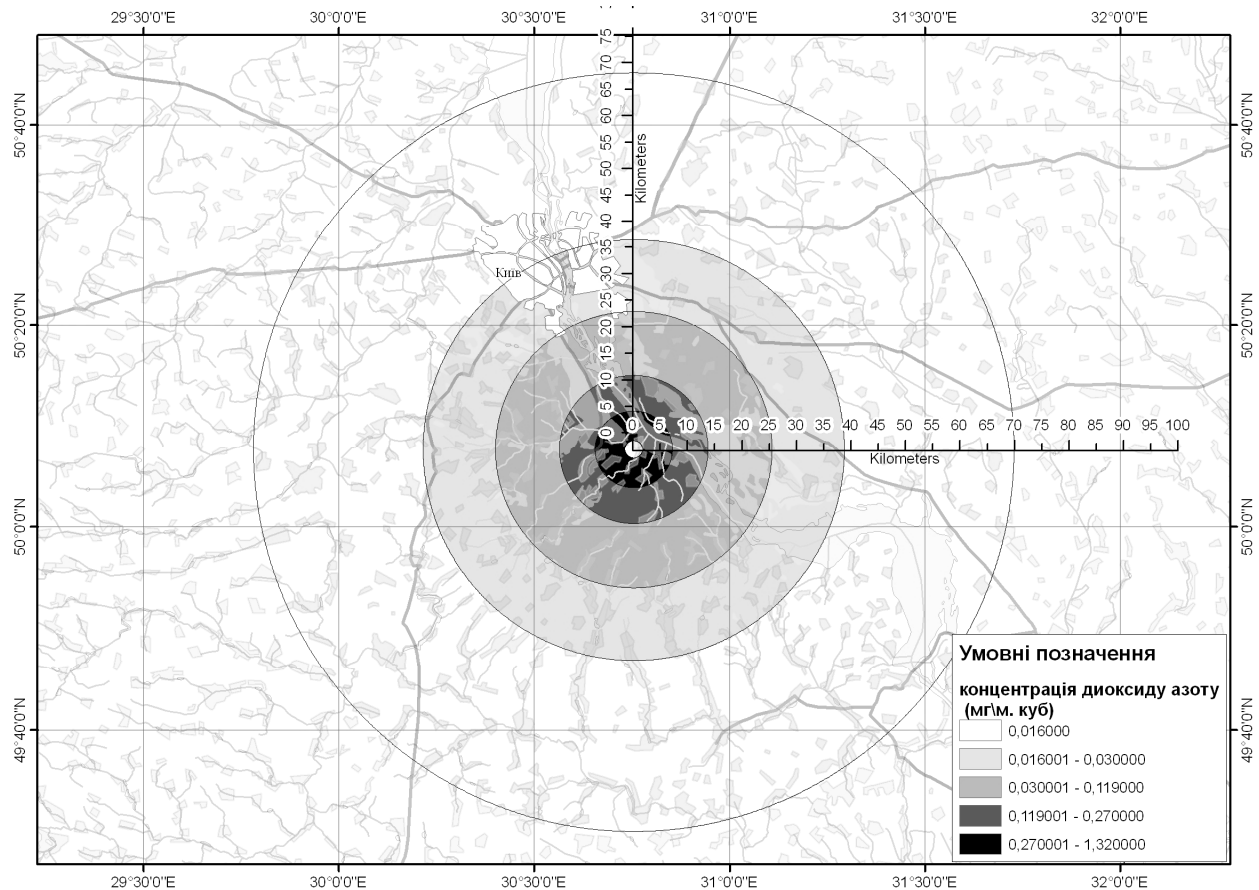


Рис. 3. Карта просторового розподілу концентрацій діоксиду азоту (мг/м. куб)

Вихідні дані до цих формул – напрям і швидкість вітру визначають за даними багаторічних спостережень на метеорологічних станціях відповідної місцевості. Наприклад, територія Київської обл. характеризується вітровою обстановкою за даними спостережень на дев'яти метеорологічних станціях (табл.1). Відповідні цим даним річні рози вітрів наведено на рис. 4. Більш інформативною формою про

параметри вітрів у визначеній місцевості є рози за румбами – рис. 5, та осереднені за визначені терміни їх швидкості – рис. 6. Інформація про параметри середньомісячної швидкості вітру по містах України зберігається на сайті [meteo prog.ua](http://meteo prog.ua). Отримати її можна з інформаційних ресурсів [Google.com.ua](http://Google.com.ua), за ключовими словами – «швидкість вітру в ( назва міста)».

Таблиця 1

Повторюваність (%) напрямків вітру на території Київської області

Місце знаходження станції	Напрямок вітру								Штиль
	Північний	Північно-східний	Схід.	Південно-східний	Південний	Південно-західний	Західний	Північно-західний	
Баришівка	12,4	8,4	11,2	17,3	13,4	10,3	13,4	13,6	10,3
Біла Церква	13,5	7,7	10,2	11,2	16,0	11,2	15,9	14,3	11,2
Бориспіль	11,4	10,2	9,1	9,9	11,8	14,2	16,2	17,2	8,8
Київ	13,6	9,1	8,8	12,8	13,0	11,5	17,7	13,5	13,0
Миронівка	13,6	8,2	5,3	7,1	16,3	13,8	20,2	15,5	6,4
Тетерів	10,3	7,1	12,8	15,7	9,7	11,7	20,5	12,2	23,5
Фастів	12,2	8,4	10,1	13,0	12,5	10,3	15,0	18,5	4,4
Чорнобиль	11,3	7,9	13,1	15,3	9,2	13,9	17,0	12,3	0,7
Яготин	11,7	10,5	12,7	13,3	13,3	10,3	15,5	12,7	7,9

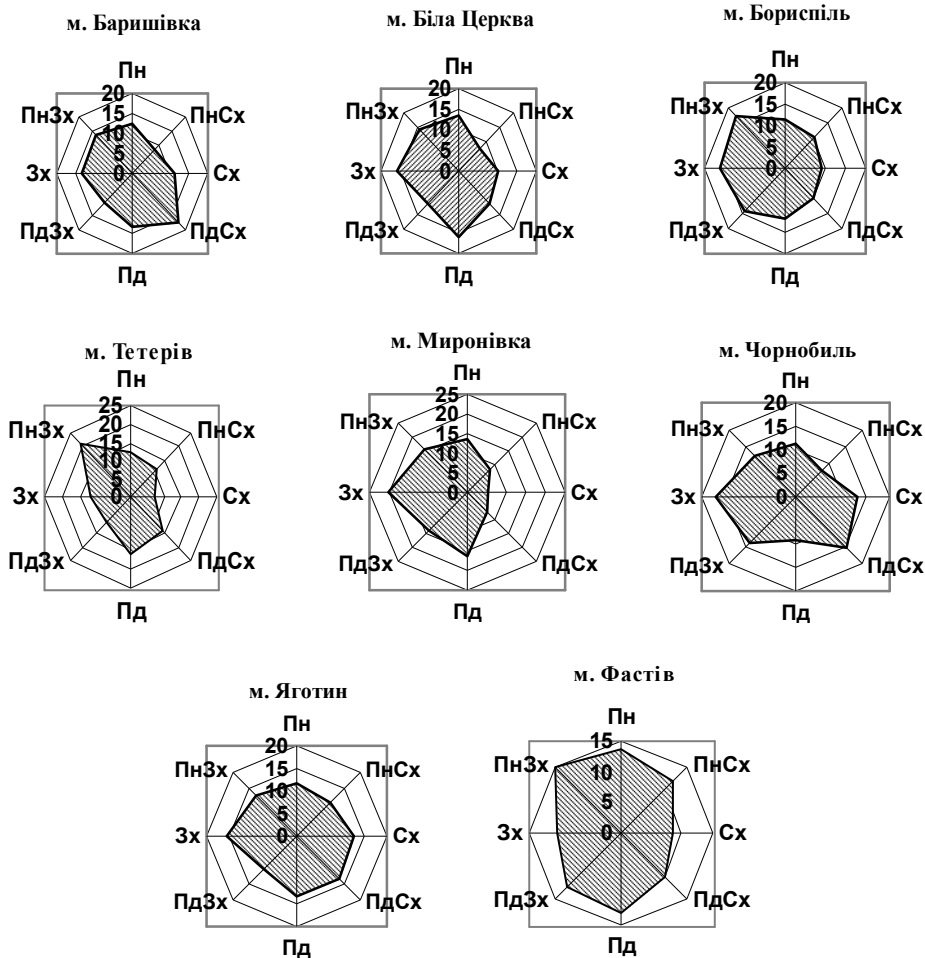


Рис. 4. Річні рози повторюваності вітрів у містах Київської області

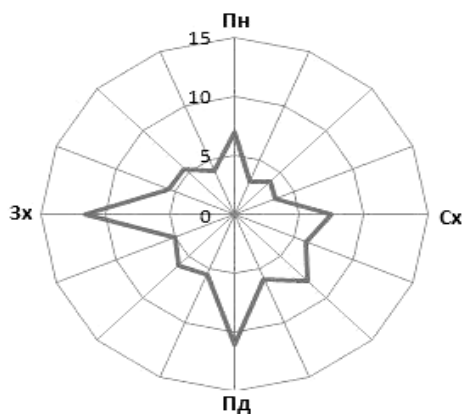


Рис. 5. Повторюваність напрямлень вітру за румбом у % по м. Біла Церква

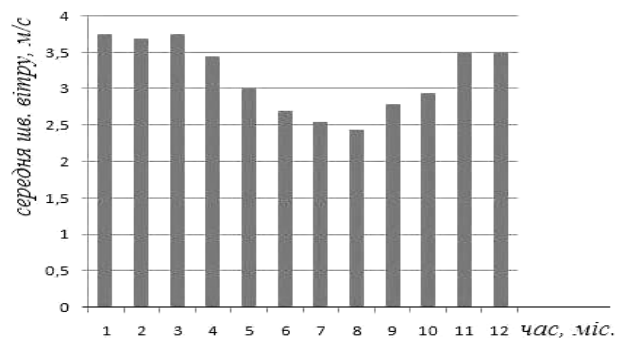


Рис. 6. Середньомісячна швидкість вітру по м. Біла Церква, осереднена за період 1961-1990 рр.

## 2. Інформаційні ресурси геоінформаційної системи моніторингу викидів отруйних речовин

В реальних умовах планування заходів по ліквідації наслідків і попередженню викидів отруйних речовин результати математичного моделювання

просторово – часового розподілу їх концентрацій потрібно адаптувати в форму, зручну для обґрунтування і прийняття управлінських рішень. Це можна зробити методами геомодельовання, які є симбіозом картографічного і математичного моделювання, при якому широко використовуються бази даних і програмні сервіси геоінформаційних систем (ГІС). При

цьому надаються широкі можливості моделювання територіальних процесів на реальних картографічних і апіорних даних. ГІС – це інструмент управління різномірною інформацією про просторово розподілені об'єкти, який надає користувачеві, в даному випадку суб'єкту, приймаючому рішення (СПР), наступні основні можливості:

- будувати картографічні зображення просторово розподілених об'єктів із заданими типами зв'язків між атрибутивними даними, які характеризують техніко-економічні параметри цих об'єктів;

- забезпечувати широким спектром інструментів аналізу наявної інформації, відкривати невідомі раніше характеристики, зв'язки, закономірності, тенденції змін об'єктів і процесів;

- забезпечувати можливостями динамічного аналізу і відображення гео – і атрибутивних даних;

- візуалізувати інформацію, отриману методами дистанційного зондування підстильної поверхні.

На сьогодні відома низка реально функціонуючих ГІС, реалізованих у рамках концепції ефективного управління територіальним розвитком (УТР) [2]. Інформаційні ресурси ГІС УТР, у загальному випадку, включають наступні, основні, складові:

- програмно-технічний комплекс – ГІС платформи;

- топографічна основа;

- бази атрибутивних даних про об'єкти управління засобами ГІС;

- предметно – орієнтовані тематичні картографічні моделі.

ГІС УТР включає інструменти обробки геопросторової та атрибутивної інформації і забезпечує доступ до неї СПР. Оскільки «Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру» (ЄДР-ПОУ) і «Урядова інформаційно-аналітична система з питань надзвичайних ситуацій» згідно постанов Кабінету Міністрів України № 1198 від 3 серпня 1998 року і № 2303 від 16 грудня 1999 року реалізовані на базі платформи Arc GIS, саме її необхідно використовувати при розробці ГІС УТР [2]. Це забезпечує їх інформаційне узгодження з іншими предметно – орієнтованими ГІС, у тому рахунку і державного рівня. Враховуючи особливості адміністративного устрою України і сучасної структури органів державного управління, розробку ГІС УТР базують на концепції регіонального (обласного) рівня.

Топографічна основа ГІС УТР обласного рівня, як правило, відповідає наступним, основним, вимогам:

- масштабний ряд: 1:50 000 - 1:200 000;

- система координат – геодезична;

- система висот – балтійська;

- режим використання – несекретно.

Точність - середня похибка в плановому положенні об'єктів та контурів місцевості не повинна перевищувати 5 м; середня похибка положення горизонталей при висоті перерізу рельєфу 20 м - 5 м, при висоті перерізу рельєфу - 30 м.

Актуальність базових графічних та семантичних даних – 2010 р.

Топографічна основа, зазвичай, представлена у двох формах: векторній і растровій. Недоліки і переваги кожної з них відомі [3]. В основі обох лежать математичні моделі. [4]. Растрова, або точкова, форма задається масивом чисел, які описують параметри кожної точки. Векторний спосіб використовує математичну формулу, за якою щоразу вираховують усі точки контуру. При цьому кожен контур розглядають як незалежний об'єкт, який можна переміщувати, масштабувати і взагалі міняти нескінченно. Векторна форма економна з погляду необхідних обсягів пам'яті, оскільки зберігає не саме зображення, а деякі основні дані, за якими відповідна програма щоразу його відновлює. Об'єкти векторної форми легко трансформуються, ними нескладно маніпулювати практично без впливу на якість зображення. Недоліки векторної форми стосуються обмежень суто живописних засобів, які не дають змоги створювати фото реалістичні зображення. Цих недоліків позбавлена растрова форма карт. У ній точкове зображення є не сукупністю окремих об'єктів, а мозаїкою з дрібних сегментів – пікселів, які визначаються адресою в бітвій карті (таблиці, матриці) і характеристикою кольору, яка кодується цілим числом з інтервалу (0 – 255). Кожен піксель незалежний від інших. Растрова форма дає змогу передавати живописні ефекти: туман, серпанок, добиватись тонких ефектів нюансування кольору, тощо. Обсяг пам'яті, необхідної для зберігання зображення в растровій формі, залежать від його площі й роздільної здатності. Тому розмір файлів двох фотознімків одного розміру буде однаковим. Наступний недолік растрової форми виявляється при спробі повернути зображення на деякий кут. При цьому чіткі вертикальні лінії перетворюються на «сходишки». Це означає, що будь-які трансформації зображення відбуваються з похибками. Отже, растрова форма придатна для створення зображення карти з тонкими переходами кольорів, а векторна – для відображення на карті об'єктів з чіткими межами і явними деталями.

Топографічна основа реальних ГІС УТР, у більшості випадків, включає наступні тематичні ша-ри:

- математичні елементи, елементи планової і висотної основи;

- рельєф суші, виражений горизонталями;

- гідрографія, гідротехнічні споруди;
- населені пункти;
- промислові об'єкти, комунікації;
- культові об'єкти;
- дороги і дорожні споруди;
- рослинний покрив і ґрунти;
- адміністративний устрій.

Проблему інформаційної підтримки рішень з питань ліквідації наслідків і планування заходів по попередженню надзвичайних ситуацій, пов'язаних з викидами отруйних речовин доцільно вирішувати в оболонці предметно – орієнтованої підсистеми ГІС УТР. Для зручності, назвемо цю підсистему – управління наслідками викидів у атмосферу (УНВА). Зрозуміло, що її засобами доцільно вирішувати не тільки проблему моніторингу викидів в атмосферу отруйних речовин в аварійних ситуаціях, а і інвентаризації джерел викидів усіх промислових підп-

приємств визначеної території. В реєстрі цих підприємств в окремому розділі містяться дані про ті з них, які використовують в виробничій діяльності або зберігають отруйні речовини. Ці дані включають: код ЄДРПОУ, тип і кількість отруйних речовин, що зберігаються, чисельність персоналу, наявність і кількість комплектів хімічного захисту.

До складу предметно – орієнтованих тематичних картографічних моделей підсистеми УНВА по кожному потенційно - небезпечному підприємству включають геомоделі забруднення місцевості отруйними речовинами при їх ймовірному викиді в умовах відсутності вітру – штилю. Приклади таких моделей для потенційно-небезпечних об'єктів м. Біла Церква, (станом їх наявності на 2008 рік) через 20 хвилин після викиду, при температурі навколишнього середовища  $+20^{\circ}\text{C}$ , швидкості вітру 0 м/сек. наведено на рис. 7.

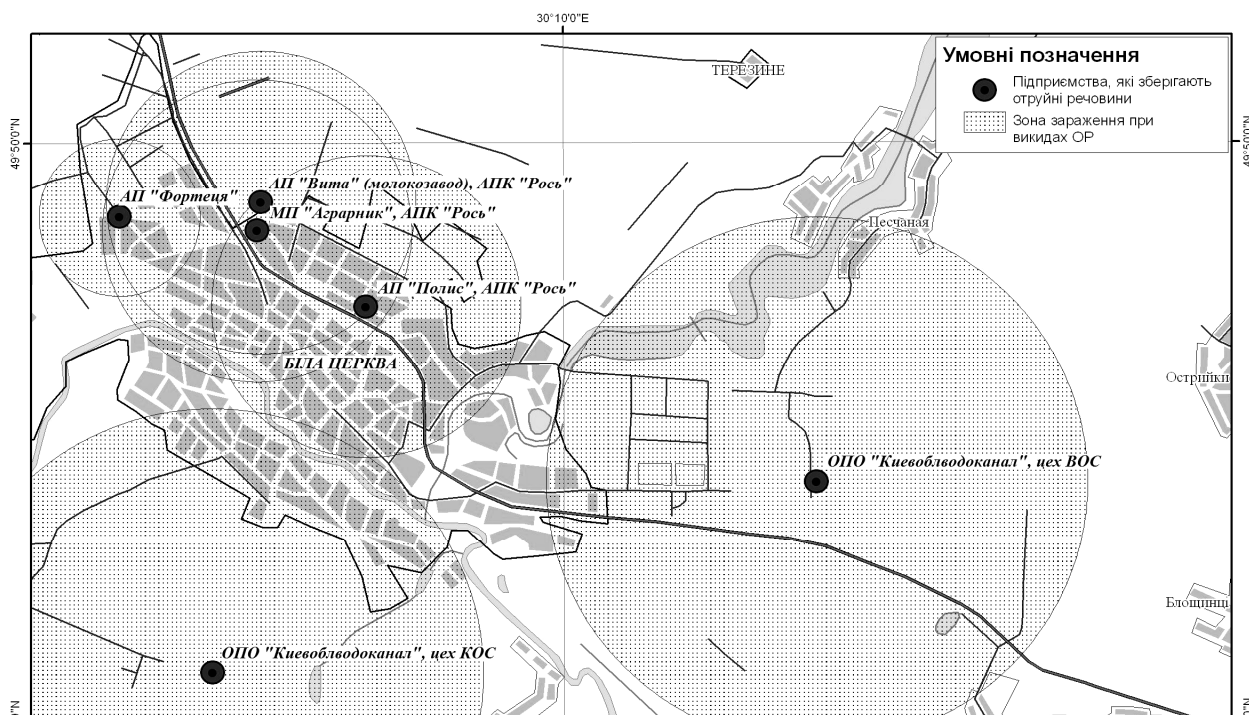


Рис. 7. Геомоделі ймовірного забруднення місцевості отруйними речовинами при їх викидах в умовах штилю

### 3. Ситуаційні геомоделі забруднення місцевості викидами отруйних речовин

В умовах надзвичайних ситуацій, пов'язаних з транспортними аваріями, пожежами, неспровокованими вибухами, які супроводжуються викидами небезпечних хімічних речовин рішення з питань планування заходів по ліквідації їх наслідків необхідно приймати при суттєвих обмеженнях часу на аналіз перебігу подій. При плануванні заходів по попередженню надзвичайних ситуацій із указаними

наслідками критичні часові обмеження відсутні.

Тому, в першому випадку, для кожного потенційно – небезпечного об'єкта доцільно мати заздалегідь розраховані геомоделі забруднення місцевості при найбільш вірогідних параметрах метеорологічних умов.

Для цього треба скористатися результатами аналізу даних про повторюваність (%) напрямків вітрів по румбах – рис. 5 і їх середньомісячних швидкостей – рис. 6 для місцевості, де знаходиться відповідний потенційно – небезпечний об'єкт - рис. 8.

Як свідчить аналіз даних із рис. 7 для місцевості, вибраної для ілюстрацій - м. Біла Церква, можна виділити чотири характерних швидкості вітру, а саме: 3.75; 3.5; 3.0; 2.5 м/сек. Для кожної з них притаманні відповідні характеристики факелу викиду, який розглядається у прямокутному тривимірному просторі XYZ. У наближенні, що центр координат знаходиться в центрі джерела викиду, ось X співпадає з румбом вітру, ось Z - вертикаль до площини XOY - рис. 9. Концентрації отруйних речовин у довільній точці зони факелу розраховують згідно формул із [1], урахувавши особливості рельєфу місцевості, які визначають з растрових топографічних карт масштабного ряду М 1:100 000 – 1:200 000 (рис. 8), а також забудови, які визначають із тематичного шару «населені пункти» векторної карти масштабного ряду 1:50 000 – 1:100 000.

Стах(мг/м<sup>3</sup>) - концентрація смх, на відстані x від джерела викиду при заданій швидкості вітру по осі факела.

Зазвичай розрахунок концентрацій отруйних речовин у зоні факелу викиду виконують з наростаючим шагом позначок по осі X. Наприклад, до 500м. через кожні 100м., а далі через 500м. або більше. Розрахунок концентрацій ОР в напрямках Y і Z ведуть відносно відстані від осі факела. Стах (мг/м<sup>3</sup>) концентрація ОР на відстані x від джерела викиду при заданій швидкості вітру по осі факела.

## Висновки

Розроблено технологію інформаційної підтримки рішень з питань планування заходів по ліквідації і попередженню надзвичайних ситуацій, пов'язаних з викидами в атмосферу газоподібних отруйних речовин, яка базується на методах геоделювання, які є симбіозом картографічного і математичного моделювання, при якому широко використовуються бази атрибутивних даних про джерела і метеорологічні умови на момент викиду, а також програмні сервіси ГІС.

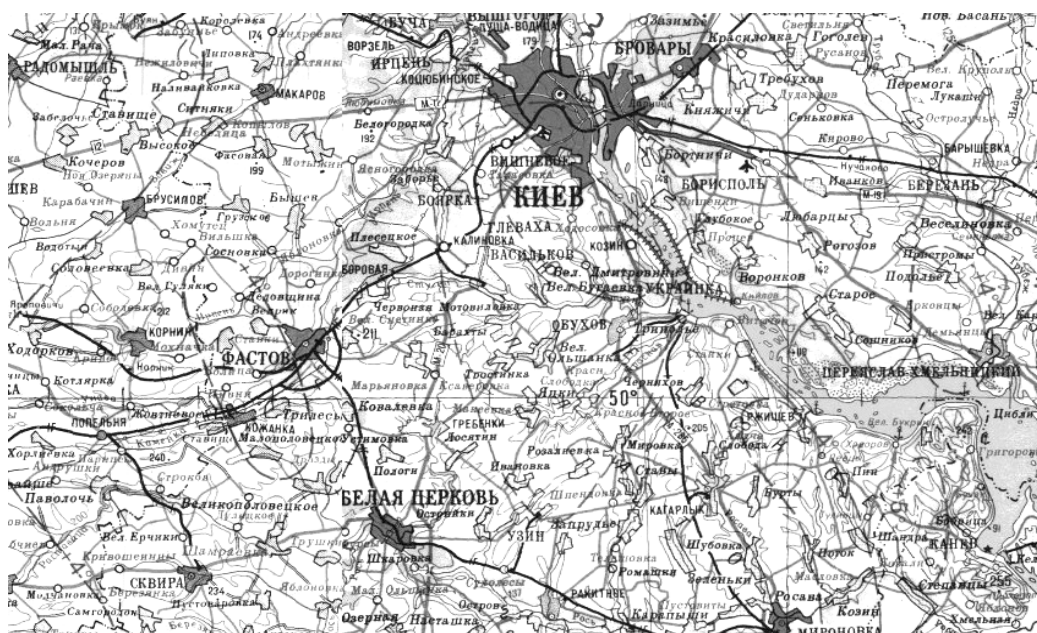


Рис. 8. Біла Церква на растровій топографічній карті Київської області

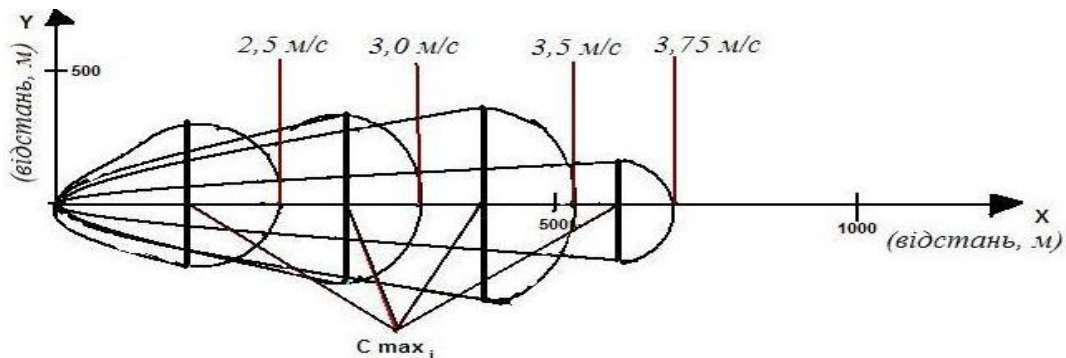


Рис. 9. Проєкція факелу викиду на площину XOY

## Література

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86 [Текст]. – Ленинград: Госпомгидромет, 1987 – 68 с.

2. Технологія використання космічних знімків NOAA в завданнях моніторингу довкілля [Електронний ресурс] / Р. Е. Пащенко, В. В. Радчук, О. М. Трофимчук, Г. Я. Красовський та інші. // Геоинформационные технологии в управлении территориальным развитием : материалы 17-й международной конф. пользователей ГИС от ESRI, Евпатория, 27 - 31 мая, 2013г. – Режим доступа: [http://www.ecomm.kiev.ua/images/stories/conf/2013/art/P2\\_%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8FNOAA.pdf](http://www.ecomm.kiev.ua/images/stories/conf/2013/art/P2_%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8FNOAA.pdf). – 8.11.2013.

3. Де Мерс, М. Географические информационные системы. Основы [Текст] : пер. с англ. / М. Де Мерс. – М. : Дата Плюс, 1999. – 490 с.

4. Красовський, Г. Я. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст [Текст] / Г. Я. Красовський, В. А. Петросов. – К. : Наукова думка, 2003. – 200 с.

Надійшла до редакції 08.11.2013, розглянута на редколегії 11.12.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. каф. штучного інтелекту Є. І. Кучеренко, Харківський національний університет радіоелектроніки.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА ГЕОМОДЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ЯДОВИТЫХ ВЕЩЕСТВ

*В. О. Давиденко*

Работа посвящена разработке научно - обоснованного методологического картографического обеспечения поддержки решений по вопросам управления мероприятиями по ликвидации последствий и предупреждению чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросами в атмосферу газообразных ядовитых веществ. Предлагается информационная технология предварительного геомоделирования последствий выбросов в атмосферу ядовитых веществ, основанная на расчете топографических параметров зон поражения при наиболее вероятных направлениях и скоростях ветра на момент выброса. При данном расчете широко используются базы атрибутивных данных об источниках и метеорологические условия в момент выброса, а также программные сервисы геоинформационных систем.

**Ключевые слова:** геоинформационные системы, последствия чрезвычайных ситуаций, выбросы ядовитых веществ, геомодели.

## INFORMATION TECHNOLOGY OF GEOMODELS SYNTHESIS OF POLLUTION GROUND ATMOSPHERE LAYER EMISSIONS TOXIC AGENTS

*V. O. Davidenko*

Work is devoted to development scientifically - reasonable methodological cartographical ensuring support of decisions on management of actions for elimination of consequences and to the prevention of the emergency situations connected with emissions in the atmosphere of gaseous toxic agents. Information technology of preliminary geomodelling of consequences of emissions in the atmosphere of the toxic agents, based on calculation of topographical parameters of zones of defeat is offered at the most probable directions and wind speeds at the time of emission. The data bases of emission sources attributes' information, the weather conditions in the emission moment and geoinformation systems' services are widely used in this computation.

**Keywords:** geoinformation systems, consequences of emergency situations, emissions of toxic agents, geo-models.

**Давиденко Валентина Олегівна** - аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: [valyuxa@ukr.net](mailto:valyuxa@ukr.net)