

УДК 504.3.054+504.064.2

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОЛЕЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

ПОЛИЩУК С. З.<sup>1\*</sup>, *д.т.н, проф.*,  
КАСПИЙЦЕВА В. Ю.<sup>2\*</sup>, *асс.*

<sup>1\*</sup> Кафедра отопления, вентилиации и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6473-253X.

<sup>2\*</sup> Кафедра отопления, вентилиации и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5977-106X.

**Аннотация. Постановка проблемы.** Контроль состояния окружающей среды по данным измерений на территории региона, получение достоверной информации для принятия управленческих решений по разработке основных направлений и мероприятий, обеспечивающих снижение загрязнения окружающей среды, является одной из основных задач системы экологического мониторинга. Представляется целесообразным решение такого рода задач для случаев, различающихся территориально (город, полигон, регион), по видам природных объектов (атмосферный воздух, почва, вода, биота, здоровье населения), по времени (текущий момент и прогноз по ретроспективным данным). Это определяет многообразие исходных данных и их особенности. С другой стороны различные задачи для различных случаев и показателей состояния окружающей среды имеют много общего в применяемом математическом аппарате. Это позволяет унифицировать программы решения задач построения полей для различных показателей. Реализация такой задачи включает в себя создание базы данных текущей и ретроспективной информации о показателях экологического состояния окружающей среды по результатам измерений; создание унифицированных программ расчетов полей показателей экологического состояния; создание типовых карт территорий для основных городов области, полигонов и области; создание программ наложения результатов расчетов по данным измерений полей на соответствующие карты местности. **Цель.** В связи с этим в многоуровневую подсистему по оценке и прогнозу загрязненности атмосферы региона предлагается включить модель визуализации и прогноза полей загрязнений атмосферного воздуха по данным измерений. **Методика.** При разработке модели был принят эмпирический подход, основанный на многократном разложении характеристик, поступающих с постов наблюдений, по естественным ортогональным функциям. **Научная новизна.** Предложен модернизированный модуль визуализации полей загрязнений для системы экологического мониторинга. **Вывод.** Предложенная модель позволяет обеспечить возможность оперативного контроля спрогнозированного загрязнения и оценки состояния атмосферного воздуха по данным измерений при решении задач экологической безопасности. Такая структура подсистемы мониторинга, включающая модели нескольких уровней сложности в полной мере соответствует специфике техногенно нагруженного региона каким является Днепропетровская область.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, поле концентраций, изолинии, оценка качества, прогноз состояния, экологический мониторинг, экологическая безопасность

## ВИЗУАЛІЗАЦІЯ ПОЛІВ ПОКАЗНИКІВ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

ПОЛИЩУК С. З.<sup>1\*</sup>, *д.т.н, проф.*,  
КАСПИЙЦЕВА В. Ю.<sup>2\*</sup>, *асист.*

<sup>1\*</sup> Кафедра опалювання, вентиляції і якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6473-253X.

<sup>2\*</sup> Кафедра опалювання, вентиляції і якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5977-106X.

**Анотація. Постановка проблеми.** Контроль стану навколишнього середовища за даними вимірювань на території регіону, отримання достовірної інформації для ухвалення управлінських рішень по розробці основних напрямів і заходів, що забезпечують зниження забруднення навколишнього середовища, є одним з основних завдань системи екологічного моніторингу. Представляється доцільним вирішення такого роду завдань для випадків, що розрізняються територіально (місто, полігон, регіон), по видах природних об'єктів (атмосферне повітря, ґрунт, вода, біота, здоров'я населення), за часом (теперішній момент і прогноз за ретроспективними даними). Це визначає різноманіття початкових даних і їх особливості. З

іншого боку різні завдання для різних випадків і показників стану навколишнього середовища мають багато спільного у вживаному математичному апараті. Це дозволяє уніфікувати програми вирішення завдань побудови полів для різних показників. Реалізація такого завдання включає створення бази даних поточної і ретроспективної інформації щодо показників екологічного стану навколишнього середовища за наслідками вимірювань; створення уніфікованих програм розрахунків полів показників екологічного стану; створення типових карт територій для основних міст області, полігонів і області; створення програм накладення результатів розрахунків за даними вимірювань полів на відповідні карти місцевості. **Мета.** У зв'язку з цим в багаторівневу підсистему оцінки і прогнозу забрудненості атмосфери регіону пропонується включити модель візуалізації та прогнозу полів забруднень атмосферного повітря за даними вимірювань. **Методика.** При розробці моделі був прийнятий емпіричний підхід, заснований на багатократному розкладанні характеристик, що поступають з постів спостережень, по природних ортогональних функціях. **Наукова новизна.** Запропонований модернізований модуль візуалізації полів забруднень для системи екологічного моніторингу. **Висновок.** Запропонована модель дозволяє забезпечити можливість оперативного контролю спрогнозованого забруднення та оцінки стану атмосферного повітря за даними вимірювань при вирішенні завдань екологічної безпеки. Така структура підсистеми моніторингу, яка включає моделі декількох рівнів складності, повною мірою відповідає специфіці техногенно навантаженого регіону яким є Дніпропетровська область.

*Ключові слова:* атмосферне повітря, поле концентрацій, ізолінії, оцінка якості, прогноз стану, екологічний моніторинг, екологічна безпека

## VISUALIZATION OF THE FIELDS OF INDEXES OF THE ECOLOGICAL STATE OF ATMOSPHERIC AIR AT REGIONAL LEVEL

POLISCHUK S. Z.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*  
KASPIJCTEVA V. YU.<sup>2\*</sup>, *assistant*

<sup>1\*</sup> Department of heating, ventilation and quality of air environment, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6473-253X.

<sup>2\*</sup> Department of heating, ventilation and quality of air environment, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5977-106X.

**Summary. Raising of problem.** Control of the state of environment from data of measurings on territory of region, receipt of reliable information for acceptance of administrative decisions on development of basic directions and measures, providing a decline contamination of environment, is one of basic tasks of the system of the ecological monitoring. A decision such of tasks is expedient for cases, differentiating territorial (city, ground, region), on the types of natural objects (atmospheric air, soil, water, биота, health of population), at times (present moment and prognosis from retrospective data). It determines the variety of basic data and their feature. From other side different tasks for different cases and indexes of the state of environment have a lot in common in the applied mathematical vehicle. It allows to unify the programs of decision of tasks of construction of the fields for different indexes. Realization of such task plugs in itself creation of database current and retrospective information about the indexes of the ecological state of environment on results measurings; creation of the compatible programs of calculations of the fields of indexes of the ecological state; creation of model cards of territories for the basic cities of area, grounds and area; creation of the programs of imposition of results of calculations from data of measurings of the fields on the proper cards of locality. **Purpose.** In this connection in a multilevel subsystem by estimation and prognosis of muddiness of atmosphere of region it is suggested to include the model of visualization and prognosis of the fields of contaminations of atmospheric air from data of measurings. **Method.** At development of model empiric approach, based on frequent decomposition of descriptions, acting from the posts of supervisions, was accepted, on natural ortogonal functions. **Scientific novelty.** The modernized module of visualization of the fields of contaminations is offered for the system of the ecological monitoring. **Conclusion.** The offered model allows to provide a traceability спрогнозованого contamination and estimation of the state of atmospheric air from data of measurings at the decision of tasks of ecological safety. Such structure of monitoring subsystem, including the models of a few levels of complication to a full degree corresponds the specific of the technogenic loaded region what the Dnepropetrovsk area is.

*Keywords:* atmospheric air, field of concentrations, изолинии, estimation of quality, prognosis of the state, ecological monitoring, ecological safety

### Постановка проблемы

На сегодняшний день по уровню техногенной нагрузки на окружающую среду Днепропетровская область занимает одно из лидирующих мест в Украине. В связи с этим возникает необходимость в определении возможных последствий антропогенных процессов, происходящих в атмосферном воздухе

на фоне химического, физического, теплового и радиационного загрязнений, а также в оценке состояния окружающей среды при аварийных ситуациях при различных эколого-экономических сценариях развития региона.

В сложившейся ситуации эффективная работа региональной системы экологического мониторинга является одной из необходимых мер по стабилизации

и улучшению состояния окружающей природной среды.

Особую роль в обеспечении пользователей экологической информацией играет решение задач обработки и образного отображения информации, в том числе и картографического. Экологические карты различной тематической направленности являются одним из наглядных и информативных средств оценки состояния окружающей природной среды.

### Цель статьи

Для обеспечения возможности оперативного контроля спрогнозированного загрязнения и оценки состояния воздушного бассейна при решении задач техногенной безопасности предлагается в подсистему оценки и прогноза состояния атмосферного воздуха ввести модель визуализации и прогноза полей загрязнений атмосферного воздуха по данным измерений.

### Основной материал

Можно выделить два подхода к построению методики решения рассмотренных задач [1, 2, 4-14]: первый из них является чисто эмпирическим, а второй - опытно-теоретическим.

Преимуществом первого можно отметить тот факт, что этот подход является наиболее объективным, поскольку отражает только опытные данные и не содержит теоретические (методические) погрешности. Недостатком его является то, что для сравнительно точного построения поля загрязнений на территории полигона с использованием известных математических методов может понадобиться большая сеть данных измерений, однако существующая сеть ограничена.

Преимуществом второго метода является тот факт, что поле загрязнений и его теоретические величины могут быть рассчитаны по известным методикам распространения загрязнений, а затем теоретические значения скорректированы по опытным данным. Недостатком этого подхода является то, что расчетное поле может быть искажено за счет методических погрешностей и погрешностей исходных данных, при этом опытные данные эти искажения могут не исправить, а просто "деформировать", т.е. теория исказит эксперимент. Кроме этого, этот подход является громоздким и требует сбора большого числа исходных данных.

На рассматриваемом этапе был принят первый подход, как наиболее простой и объективно отображающий характеристики поля загрязнений по крайней мере в точках измерений.

Ввиду того, что измеренная информация является дискретной как по времени, так и по координатам местности, в рассматриваемой проблеме были выделены следующие задачи построения и идентификации полей тех или иных показателей состояния окружающей среды :

- определение значения показателей в произвольной точке некоторой территории во время производства измерений,

- определение изолиний поля значений показателя на некоторой территории во время производства измерений,

- определение значения показателя в произвольной точке некоторой территории в промежутках между временами измерений, включая прогноз после момента последнего измерения до момента получения последующего измерения,

- определение изолиний поля показателя на некоторой территории в промежутках между временами измерений, включая прогноз после момента последнего измерения до момента получения последующего измерения.

Для решения двух первых задач, указанных выше, рассмотрим двумерные задачи, получающиеся при проектировании пространства на двумерную поверхность (например, горизонтальную плоскость). Пространственное изображение поля наиболее удобно представить методом изолиний [10]. Существует математическое обеспечение для построения изолиний, которое требует значения поля исследуемого параметра в узлах регулярной сетки. Поэтому для построения изолиний необходимо перейти от исходной сети точек (как правило, нерегулярной) к регулярной (например, прямоугольной). Такой переход осуществляется методами интерполирования. Задачу интерполирования в дальнейшем будем понимать в широком смысле, включая в нее экстраполирование.

Значение функции координат  $x, y$  в любой точке рассматриваемой области определяется по формуле:

$$z(x, y) = \frac{\sum_{j=1}^n p_j (z_j + \xi_j (x - x_j) + \eta_j (y - y_j))}{\sum_{j=1}^n p_j},$$

$$p_j = ((x - x_j)^2 + (y - y_j)^2)^{-d/2},$$

где  $x_j, y_j$  - координаты контрольных точек (постов);  $z_j$  - значение концентрации рассматриваемого загрязняющего вещества на  $j$ -ом посту;  $\xi_j, \eta_j$  - частные производные концентрации загрязняющего вещества  $z_j$  по координатам  $x, y$ , соответственно.

Таким образом, зная координаты  $x_j, y_j$  точек измерения и концентрации  $z_j$  загрязняющего вещества в них, по приведенным зависимостям можно получить значение концентрации  $z(x, y)$  в произвольной точке, т.е. решить первую задачу. Если задать координаты  $x_k, y_k$  узлов регулярной сетки, покрывающей всю территорию полигона, то по этим зависимостям могут быть рассчитаны значения концентраций  $z_k$  в этих узлах. Тогда с использованием известных алгоритмов (например, [2, 5]) по этим данным могут быть построены

изолинии, характеризующие поле концентраций на заданной территории.

При решении двух вторых задач определение поля загрязнения производится уже по трем переменным: координатам  $x$ ,  $y$  и времени  $t$ . Для такого случая считается целесообразным использовать метод разложения по естественным ортогональным функциям информации о загрязнении окружающей среды, поступающей из постов наблюдения, который нашел применение при решении подобных задач [3, 10].

Высокая степень оправдываемости прогноза параметров с использованием этого подхода дает основание предложить его для данного случая. В результате, с помощью  $n$ -кратного разложения отклик объекта  $q$ , являющийся функцией  $n$  переменных, представляется в виде конечной суммы произведений  $(n-1)$  функций, каждая из которых, за исключением первой, зависит только от одной переменной. При этом не имеет значения порядок разделения переменных, главное, чтобы объем выборки при каждом разложении не превышал числа отсчетов по выделяемой естественной ортогональной функции. Количество независимых переменных может быть большим, оно также определяется объемом выборки.

Таким образом, исходная информация представляется в виде суммы некоторого числа элементарных полей, каждое из которых несет информацию о факторах, влияющих на изменчивость распределения примеси на территории. При этом наиболее существенная информация представляется малым числом членов ряда  $n$

$$q(x, y, t) - q^{cp}(x, y, \tau) = \sum_i \alpha_i(t) \cdot \varphi_i(x, y),$$

где  $q(x, y, t)$  - концентрация примеси в момент времени  $t$  в заданной точке пространства  $(x, y)$ ;  $q^{cp}(x, y, \tau)$  - средняя концентрация примеси, определенная за рассматриваемый период  $\tau$ ;  $\alpha_i(t)$  - коэффициенты разложения, зависящие от времени  $t$ ;  $\varphi_i(x, y)$  - компоненты естественных ортогональных функций по  $x$  и  $y$ .

Определив по имеющейся информации о замерах концентраций в точках за рассматриваемый период  $t$  значения собственных функций матрицы  $q(x, y, t)$  и значения коэффициентов разложения по естественным ортогональным функциям, по этой же формуле можно определить значения  $q(x, y, t)$  в произвольные времена  $t$  и для произвольных координат  $x$ ,  $y$ .

Программы для решения задач определения показателей загрязнения позволяют определить значения отклика в заданных узлах сетки по координатам  $x$ ,  $y$  и по ним решить задачи определения изолиний.

Основная трудность при прогнозировании по методу многократного разложения по естественным ортогональным функциям заключается в сборе исходной экспериментальной информации. Однако эта трудность может быть преодолена в рамках возможностей системы экологического мониторинга.

Апробация модели была проведена на примере данных по атмосферному загрязнению для г.Днепр, в качестве которых использовались среднемесячные концентрации 4-х основных загрязняющих атмосферу веществ - диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота и взвешенные вещества.

### Вывод

Предложенная модель позволяет обеспечить возможность оперативного контроля спрогнозированного загрязнения и оценки состояния атмосферного воздуха по данным измерений при решении задач экологической безопасности. Она является составной частью многоуровневой подсистемы по оценке и прогнозу качества атмосферного воздуха техногенно нагруженного региона и может использоваться как в рамках данной подсистемы, так и самостоятельно.

Такая структура подсистемы мониторинга, включающая модели нескольких уровней сложности в полной мере соответствует специфике техногенно нагруженного региона каким является Днепропетровская область.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций [монография] / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2013. – 158 с.
2. Веселов В. В., Гонтов Д. П., Пустыльников Л. М. Вариационный подход к задачам интерполяции физических полей. – М.: Наука. – 1983. – 120 с.
3. Двинских Н. И. Разложение полей ионосферных характеристик по естественным ортогональным функциям / Н. И. Двинских. – Иркутск : СибИЗМИР, 1987. – 28 с.
4. Измалков В. И. Экологическая безопасность, методология прогнозирования антропогенных загрязнений и основы построения химического мониторинга окружающей среды / В. И. Измалков. – Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1994. – 182 с.
5. Красов В. И. Задачи прогнозирования в автоматизированных системах контроля и управления качеством воздушного бассейна / В. И. Красов // Проблемы контроля и защита атмосферы от загрязнения : респ. межвед. сб. науч. тр. / Акад. наук Укр. ССР, Ин-т техн. теплофизики ; [редкол.: А. Н. Щербань (отв. ред.), В. А. Аникеев, Ю. А. Балашов и др.]. – Киев, 1984. – Вып. 10. – С. 9–13.
6. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.

7. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Всемирная организация здравоохранения. Европейская серия, №85. Копенгаген, 2001. - 293
8. Примак А. В. Системный анализ контроля и управления качеством воздуха и воды : [монография] / А. В. Примак, В. В. Кафаров, К. И. Качиашвили. – Киев : Наукова думка, 1991. – 358 с. : ил. – (Наука и технический прогресс).
9. Статистическая обработка экологического мониторинга / С. А. Дубровский, П. В. Лизогуб, Д. В. Корчагин, В. А. Дудина, Ж. С. Абросимова // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. – № 1(8). – 2002. – С. 4–11.
10. Berlyand M. E. Prediction and regulation of air pollution / M. E. Berlyand. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1991. – Vol. 14. – 312 p.
11. Cassol M. Analytic modeling of two-dimensional transient atmospheric pollutant dispersion by double GITT and Laplace Transform techniques / M. Casso, S. Wortmann, U. Rizza // Environmental Modeling and Software. – 2009. – Vol. 24, iss. 1. – P. 144–151.
12. Davidson M. Moreira. A model employing integral transform method to simulate pollutant dispersion in atmosphere / Davidson Martins Moreira, Antonio Gledson Goulart, Marcelo Romero de Moraes // Revista Brasileira de Meteorologia. – 2013. – Vol. 28, iss. 4. – P. 373–381.
13. Zannetti P. Numerical simulation modelling of air pollution : an overview / P. Zannetti et al, ED. // Air pollution: Computational Mechanics Publications. – Southampton, 1993. – P. 3–14.
14. Hino W. Computer experiment on smoke diffusion over a complicated topography//Atmos.Environ. - 2002. -P.541-558.

### REFERENCES

1. Belyaev N.N., Gunko E.Yu., Mashihina P.B. *Matematicheskoe modelirovanie v zadachah ekologicheskoy bezopasnosti i monitoringa chrezvychajnykh situatsiy* [A mathematical design is in the tasks of ecological safety and monitoring of extraordinary situations]. Dnipropetrovsk: Akcent PP, 2013, 158 p. (in Russian).
2. Veselov V.V., Gontov D.P., Pystilnikov L.M. *Variatsionnyy podhod k zadacham interpolatsii fizicheskikh poley* [Variation going near the tasks of interpolation of the physical fields]. Moskva: Nauka, 1983, 120 pp. (in Russian).
3. Dvinskiy N.I. *Razlogenie poley ionosfernykh harakteristik po estestvennykh ortogonalnykh funktsiyam* [Decomposition of the fields of ionosphere descriptions on natural orthogonal functions]. Irkutsk: SibIZMir, 1987, 28 p. (in Russian).
4. Izmalkov V.I. *Ekologicheskaya bezopasnost, metodologiya prognozirovaniya antropogennykh zagryazneniy i osnovy postroyeniya himicheskogo monitoringa okrugayushej sredi* [Ecological safety, methodology of prognostication of anthropogenic contaminations and basis of construction of the chemical monitoring of environment]. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat, 1994, 182 p. (in Russian).
5. Krasov V.I. *Zadachi prognozirovaniya v avtomatizirovannykh sistemakh kontrolya i upravleniya kachestvom vozdušnogo bassejna* [Tasks of prognostication are in the automated checking and quality of air pool management systems]. Problemy kontrolya i zaschita atmosfery ot zagryazneniya [Control problems and defence of atmosphere from contamination]. Institut teplofiziki. Kiev, 1984, no. 10, pp. 9-13. (in Russian).
6. Marchuk G.I. *Matematicheskoe modelirovanie v probleme okrugayushej sredi* [A mathematical design is in the problem of environment]. Moskva: Nauka, 1982, 320 p. (in Russian).
7. *Monitoring kachestva atmosfernogo vozduha dlya ocenki vozdeystviya na zdorovie cheloveka* [Monitoring of quality of atmospheric air for the estimation of influence on a health of man]. Vsemirnaya organizatsiya zdavoohraneniya. Evropejskaya seriya, no. 85. Kopenhagen, 2001, 293 p. (in Russian).
8. Primak A.V., Kafarov K.I., Kachiashvili K.I. *Sistemnyy analiz kontrolya i ypravleniya kachestvom vozduha i vodi* [Analysis of the systems of control and quality of air and water management]. Kiev: Naukova dumka, 1991, 358 p. (in Russian).
9. Dubrovskiy S.A., Lizogub P.V., Korchagin D.V., Dudina V.A., Abrosimova G.S. *Statisticheskaya obrabotka ekologicheskogo monitoringa* [Statistical treatment of the ecological monitoring]. Ekologiya Centralno-Chernozemnoy oblasti Rossijskoj Federatsii, 2002, no. 1(8), pp. 4-11 (in Russian).
10. Berlyand M. E. Prediction and regulation of air pollution / M. E. Berlyand. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. – Vol. 14. – 312 p.
11. Cassol M. Analytic modeling of two-dimensional transient atmospheric pollutant dispersion by double GITT and Laplace Transform techniques / M. Casso, S. Wortmann, U. Rizza // Environmental Modeling and Software. – 2009. – Vol. 24, iss. 1. – P. 144–151.
12. Davidson M. Moreira. A model employing integral transform method to simulate pollutant dispersion in atmosphere / Davidson Martins Moreira, Antonio Gledson Goulart, Marcelo Romero de Moraes // Revista Brasileira de Meteorologia. – 2013. – Vol. 28, iss. 4. – P. 373–381.
13. Zannetti P. Numerical simulation modelling of air pollution : an overview / P. Zannetti et al, ED. // Air pollution: Computational Mechanics Publications. – Southampton, 1993. – P. 3–14.
14. Hino W. Computer experiment on smoke diffusion over a complicated topography//Atmos.Environ. - 2002. -P.541-558.

Стаття надійшла в редколегію 12.09.2016