

## МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ НАГРУЗОК НА АТМОСФЕРУ

### Актуальность

Предприятия топливно-энергетического комплекса наряду с автомобильным транспортом следует отнести к основным источникам техногенного загрязнения атмосферы в крупных городах [1].

Тепловые электростанции активно способствуют усилению парникового эффекта и выпадению кислотных осадков. При определенных погодных условиях в приземном слое воздуха концентрируются большие скопления вредных газообразных и аэрозольных примесей. Чаще всего это связано с явлением *инверсии*: непосредственно над источниками газопылевой эмиссии более холодный слой воздуха располагается под теплым, что препятствует перемешиванию воздушных масс и задерживает перемещение примесей вверх. В результате вредные выбросы концентрируются под слоем инверсии у поверхности земли, образуя фотохимический туман (смог).

Фотохимический смог возникает в результате фотохимических реакций при наличии нескольких условий: высокой концентрации оксидов азота, углеводородов и других загрязнителей, интенсивной солнечной радиации и безветренной погоды. Подобные условия возникают как правило в июне-сентябре, реже – зимой. Они представляют большую опасность для дыхательной и кровеносной системы, увеличивая риск заболеваемости и преждевременной смерти среди городских жителей. Более детально сочетания неблагоприятных метеорологических факторов и связанные с ними риски для здоровья анализируются в работе [2].

Для обеспечения экологической безопасности городского населения необходимо своевременно дать оценку техногенных нагрузок от выбросов ТЭС при неблагоприятных условиях и выявить зоны повышенного риска по атмосферному фактору на основе современных ГИС-технологий.

### Постановка задачи

Для комплексной оценки состояния атмосферы и выявления территорий повышенного риска по атмосферному фактору необходимо рассмотреть ряд достаточно сложных задач, связанных с моделированием зоны влияния техногенных объектов при неблагоприятных погодных условиях. Этот комплекс задач решается на основе методов математико-картографического моделирования техногенных нагрузок, включающих как математическое моделирование процесса распространения примесей в атмосфере, так и пространственное моделирование наиболее опасных ситуаций и территорий повышенного риска с использованием электронных карт.

В математико-картографическом моделировании его картографическая составляющая рассматривается как продолжение и развитие математической модели, обеспечивая представление и анализ данных в соответствии с целью и задачами исследования. Картографическая интерпретация математических расчетов приводит их к виду, наиболее удобному для использования, и в то же время служит инструментом более глубокого анализа результатов математического моделирования для конкретных территорий.

По картам можно легко определить недостатки используемых математических моделей, найти отдельные погрешности, вызванные ошибками моделирования, оценить полученную картину в целом. Иными словами, карты представляют надежное средство для визуализации данных и руководства процессом моделирования, для его контроля и корректировки, а также для оценки достоинств конкретных математических моделей.

В работе рассматривается задача создания карты для визуализации техногенных нагрузок на атмосферу города, рассчитанных по результатам моделирования процесса распространения примесей, выбрасываемых дымовыми трубами ТЭЦ-5 при наиболее неблагоприятных сочетаниях метеорологических факторов.

### **Методы исследования**

Первый этап работы связан с исследованием и реализацией нескольких методов моделирования загрязнения атмосферы в среде Matlab 7. Были рассчитаны концентрации опасных веществ в атмосфере для прилегающих территорий на основе пяти наиболее известных моделей [3]. Усредненные значения полученных концентраций использовались как исходные данные для построения картографических моделей.

Следующим этапом исследования техногенного загрязнения атмосферы стало воссоздание и визуальное представление рельефа статистической поверхности на основе численных значений показателей в опорных точках.

Под статистической поверхностью обычно понимается визуальное представление поля *непрерывного распределения* количественного признака по реальной поверхности Земли, где каждая точка этого поля определяется конкретной величиной данного признака. Если в качестве значений опорных точек выбрать показатели техногенного загрязнения атмосферы (например, концентрации вредных примесей), то можно построить *экологические карты* техногенных нагрузок на атмосферу города или региона..

Отметим, что статистический подход выступает здесь прежде всего как способ обобщения информации, полученной в результате моделирования, позволяющий синтезировать представление об отдельных концентрациях загрязнителей атмосферы в целостный образ – экологическую карту техногенных нагрузок на городские территории.

В работе [4] рассматривается многомерный подход к анализу экологической информации, который можно использовать для перехода от набора разрозненных показателей техногенного загрязнения территорий к

экологическим индексам и их визуальному представлению.

Для наглядного представления экологической информации в виде карт статистических поверхностей необходимо обратиться к специальным методам интерполяции непрерывной статистической поверхности на основе опорных точек. Как известно, любое количественное значение в точке ландшафта или атмосферы может быть использовано для построения непрерывной поверхности. Поэтому при анализе техногенных нагрузок на атмосферу с использованием ГИС-технологий возникает проблема выбора наиболее точной интерполирующей поверхности среди тех возможных вариантов, которые можно построить на основе имеющихся опорных точек, с последующей оценкой точности интерполяции и отклонений в значениях полученной поверхности.

Для интерполяции используется две группы методов: детерминистские и геостатистические. Если детерминистские методы базируются на оценках сходства точек выборки или степени сглаживания, то геостатистические методы используют статистические свойства опорных точек. В частности, методы кригинга количественно определяют пространственные корреляции между опорными точками в окрестности искомой точки. Эти методы считаются наиболее эффективными для случая многомерного нормального распределения исходных данных.

При решении задачи интерполяции поверхности, отображающей уровни техногенных нагрузок на атмосферу, использовались геостатистические методы интерполяции (модели кригинга), а также программные средства модуля Geostatistical Analyst [5], реализующие эти модели.

В современных геостатистических пакетах предусмотрено несколько способов отображения статистических поверхностей: контуры с заливкой, изолинии, грид (растровое представление), растяжка цвета. Предлагается также использовать возможности сочетания нескольких способов для достижения дополнительных эффектов.

### **Результаты исследования**

Метеорологические условия, влияющие на распространение вредных примесей в атмосфере, существенно изменяются как в течение года, так и на протяжении ряда лет. В зависимости от типа источников выбросов, а также их размещения на территории города сочетание ряда неблагоприятных метеорологических факторов может оказать существенное влияние на изменение концентраций вредных примесей [6].

С помощью методов математико-картографического моделирования были построены карты загрязнения приземного слоя атмосферы г. Киева штатными выбросами ТЭЦ-5 для различных метеорологических условий (в том числе, для их наиболее неблагоприятных сочетаний).

В качестве исходных данных рассматривались скорость и направление ветра (роза ветров для данного региона показана на рис. 1), количественные характеристики источника выбросов в атмосферу (по данным ТЭЦ-5),

отдельные составляющие выбросов (диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода), а также данные о расположении источника выбросов.

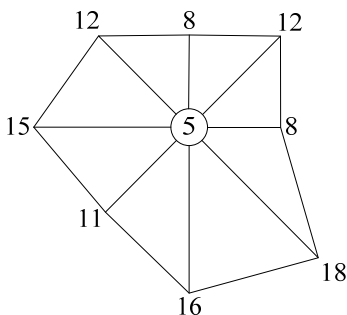


Рис. 1. Роза ветров для г. Киева за 2007 г.

Предварительный анализ данных в соответствии с [7] показал, что среднемесячные концентрации диоксида азота (2-ой класс опасности) по данным 2005 – 2007 гг. более чем в два раза превышают предельно допустимые значения этих концентраций (ПДК). В целом по г. Киеву повторение случаев превышения максимально разовой ПДК для диоксида азота составило около 60 процентов от общего числа наблюдений. Подобная ситуация характерна и для других крупных городов Украины, где диоксид азота также оказался среди наиболее критических показателей загрязнения атмосферы. Поэтому диоксид азота использовался в качестве индикатора экологического состояния городских территорий.

На рис.2 показана карта загрязнения атмосферы, построенная на основе результатов моделирования для сочетания наиболее неблагоприятных погодных условий и опасной скорости ветра. Интерполяции статистической поверхности для территории города производилась методом кригинга [5]. В качестве опорных точек использовались значения концентраций диоксида азота, полученные в результате математического моделирования процесса распространения примесей в атмосфере [3].

На рис. 3 показана карта загрязнения атмосферы г. Киева диоксидом азота, построенная с учетом реальных метеорологических условий, наблюдаемых в 2007 году. Анализ карты показывает, что наиболее неблагоприятная ситуация возникает в северо-западной части города при юго-восточном направлении ветра. В этом случае высокие концентрации диоксида азота распространяются на достаточно большую территорию.

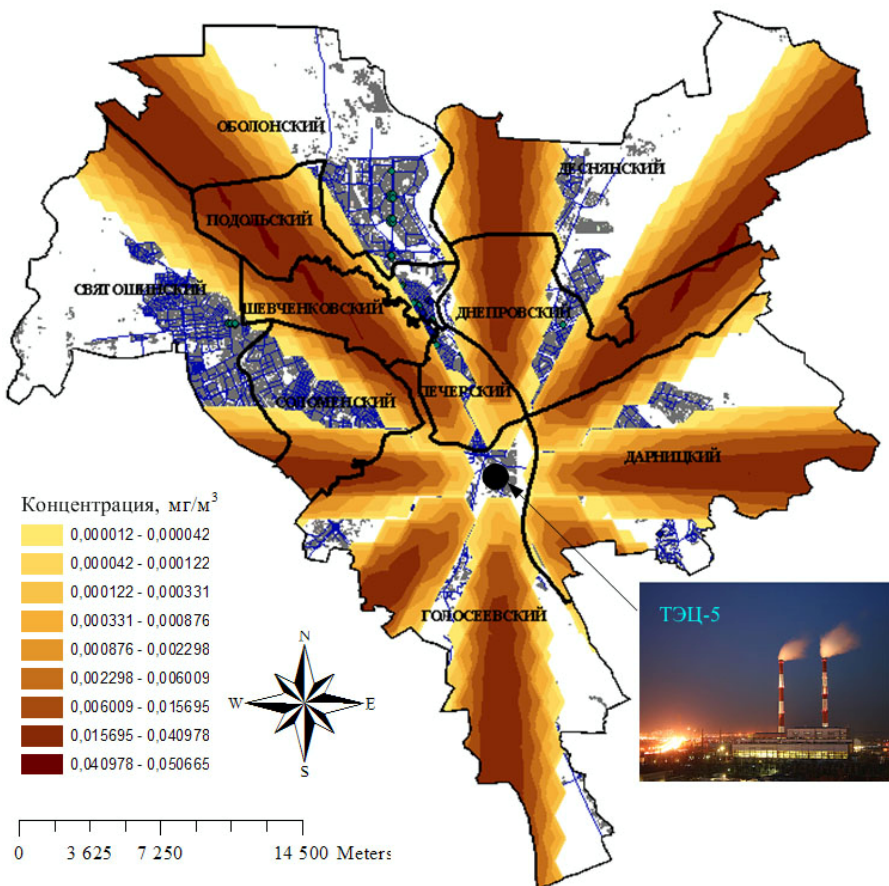


Рис. 2. Карта загрязнения приземной атмосферы г. Киева диоксидом азота при сочетании наиболее неблагоприятных метеорологических условий и опасной скорости ветра

С учетом наблюдаемой розы ветров для рассматриваемой территории среднее значение загрязнений составит величину

$$C_{cp} = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^8 p_k C_k,$$

где  $p_k$  – вероятность определенного направления ветра;

$C_k$  – концентрация загрязнения, соответствующая  $k$ -ой метеорологической ситуации стационарного направления и скорости перемещения воздушных масс.

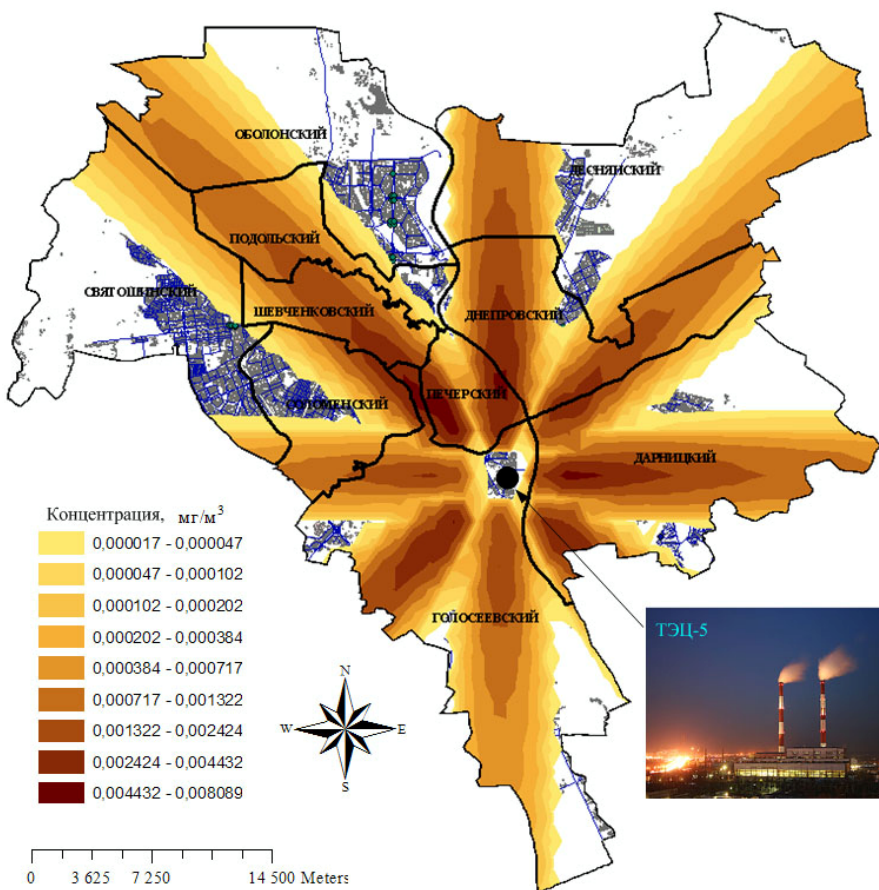


Рис. 3. Карта среднегодового загрязнения приземной атмосферы г. Киева диоксидом азота (с учетом розы ветров)

Полученные уровни загрязнения представлены на карте как контуры, закрасненные в соответствии со значениями цветовой шкалы, показанной на рис. 1 слева. Для ранжирования используется 9 градаций шкалы

Таким образом, на одной карте можно представить сразу несколько результатов моделирования для разных погодных условий. В данном случае на карте Киева показаны области распространения выбросов от ТЕЦ-5 в соответствии с розой ветров за 2007 год. Можно выделить несколько зон повышенного загрязнения диоксидом азота, которые формируются под

воздействием различных направлений ветра при неблагоприятных погодных условиях, препятствующих быстрому рассеиванию примесей.

### **Выводы**

Рассматривается задача математико-картографического моделирования техногенных нагрузок на атмосферу, связанных с функционированием техногенного объекта при сочетании ряда неблагоприятных факторов

Результаты математического моделирования представлены в виде экологических карт статистических поверхностей. Экологические карты, отображающие состояние атмосферы, могут быть построены как на основе экологических индикаторов, так и на основе экологических индексов.

Для интерполяции карты по опорным точкам использовался геостатистический метод кригинга и технологии контурной заливки, выполнение которых поддерживает модуль Geostatistical Analyst.

Предложенные методы обеспечивают новые возможности для выявления и прогнозирования опасных ситуаций, обусловленных функционированием техногенных объектов (в частности – объектов ТЭК). Полученные карты атмосферных нагрузок дают наглядное представление о территориях повышенного риска для неблагоприятных погодных условий.

1. *Альмов В.Т., Тарасова Н.П.* Техногенный риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 118 с.
2. *Швыряев А.А., Меньшиков В.В.* Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: Учебное пособие для вузов. – М., Изд-во МГУ, 2004. – 124 с.
3. *Сердюцька Л.Ф., Попов О.О.* До огляду моделей розповсюдження домішок в атмосфері міста // Зб. наук.пр. ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України.– К., 2008, – Вип. 45. – С. 67–80.
4. *Сердюцкая Л.Ф., Каменева И.П.* Системный анализ и математическое моделирование медико-экологических последствий аварии на ЧАЭС и других техногенных воздействий. – К.: «Медэкол». – 173 с.
5. *Джонсон К.* ArcGIS Geostatistical Analyst. Руководство пользователя – Москва: Дата+, 2001. – 278 с.
6. *Безуглая Э.Ю.* Чем дышит промышленный город. – Л., Гидрометеиздат, 1991. - 256 с.
7. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області – К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2005 – 2007 рр.

*Поступила 2.03.2009р.*