

СИСТЕМА АНАЛИЗА ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ И ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

SYSTEM FOR ANALYZING THE TRANSFER OF POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERIC AIR AND WATER BODIES

V. Rybak

Summary. The paper considers and analyzes known approaches to modeling the transfer of pollutants in the atmospheric air and water bodies. The implemented system is described, which allows to obtain predicted values of concentrations changing in space over time in a visual form. The results of the air subsystem are relevant not only in conditions of emergency emissions, but also for choosing places for mass gatherings of people, holding sports events. It is justified to use the water subsystem to assess the economic efficiency of environmental protection measures and their payback.

Keywords: mathematical model, software implementation, pollutant transfer, environmental pollution analysis.

Рыбак Виктор Александрович

Кандидат технических наук,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники (г. Минск)
V.Rybak@bsuir.by

Аннотация. В работе рассматриваются и анализируются известные подходы к моделированию переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и водных объектах. Описана реализованная система, позволяющая в наглядном виде получать прогнозные значения концентраций, изменяющихся в пространстве со временем. Результаты воздушной подсистемы актуальны не только в условиях аварийных выбросов, но и для выбора мест массовых собраний людей, проведения спортивных мероприятий. Водную подсистему оправданно использовать для оценки экономической эффективности природоохранных мероприятий и их окупаемости.

Ключевые слова: математическая модель, программная реализация, перенос загрязняющих веществ, анализ загрязнения окружающей среды.

Введение

С развитием нашего общества вопросам охраны окружающей среды и рационального природопользования уделяется всё больше внимания. Во многом это обусловлено изменением климата и очевидным влиянием загрязнения окружающей среды на качество жизни людей. Также встаёт проблема обеспечения населения пресной водой. Научный подход к оценке неблагоприятного воздействия веществ через определение предельно допустимых концентраций (ПДК) в настоящее время подвергается обоснованной критике. Рядом исследователей показано, что концентрации даже ниже предельно допустимых могут оказывать неблагоприятное воздействие [1]. Поэтому актуальным представляется вопрос создания системы для расчёта и анализа переноса загрязняющих веществ в окружающей среде.

В данной статье уделено внимание двум основным средам — атмосферному воздуху и гидросфере.

Атмосферный воздух

С учётом потребности людей в дыхании атмосферный воздух занимает лидирующее место по степени влияния на организм. При этом необходимо анализировать качество воздуха и в производственных, и в жилых помещениях.

Распространение выбросов от автотранспорта и промышленных производств значительно отличается от аварий-

ных выбросов, при этом последние с учётом их непредсказуемости представляют особую опасность и требуют научно обоснованных инструментов для анализа. Основными параметрами, влияющими на точность модели, являются: высота выброса, подъём шлейфа, осадки, диффузия и перенос [2].

Традиционно, для расчёта распространения загрязняющих веществ в воздухе на малые расстояния применяют эмпирическую модель Паскуилла-Гиффорда, которая базируется на оценке концентрации вещества, выбрасываемым не дискретным точечным источником [2]:

$$q(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)u} f_r f_w \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \times \left(\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) \right) \quad (1)$$

где x, y, z — декартовы координаты, ось z — вверх, ось x — по ветру;

h — эффективная высота источника (то есть высота с учётом первоначального подъёма перегретой струи);

Q — мощность источника выброса;

q — концентрация примеси в данной точке пространства;

u — скорость ветра, усреднённая по слою перемешивания;

$\sigma_y(x)$ и $\sigma_z(x)$ — вертикальная и поперечная дисперсии облака примеси;

f_f и f_w — поправки на обеднение облака за счет сухо-осаждения примеси и её вымывания осадками.

В зависимости от устойчивости атмосферы и рельефа местности изменяются параметры скорости ветра и дисперсий $\sigma_y(x)$, $\sigma_z(x)$. В реализуемой нами системе типы местности выбираются из списка. Однако с усложнением рельефа оправданным представляется уточнение расчётов экспериментально.

Программная реализация описанной модели не предъявляет повышенных требований к вычислительным мощностям, и может быть запущена на смартфоне и планшете [3].

Направление дальнейшего развития и повышение точности моделей переноса лежат в плоскости уточнения параметров через обработку результатов натуральных экспериментов [4].

В научной литературе также описана модель, разработанная в Институте экспериментальной метеорологии (ИЭМ), которая способна давать более точные прогнозы только при наличии дополнительных метеорологических данных [2].

В случае аварийных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух возникают ситуации повышенных рисков, при которых важно рассчитать максимальные разовые концентрации. Санитарно-гигиенические подходы в этой области основываются на методике ОНД-86, которая несмотря на свой «возраст» до сих пор используется в современных программных продуктах экологического анализа [4].

Минимальный набор параметров в предложенной системе для начала расчёта состоит из коэффициента скорости оседания, концентрации и радиуса выброса.

Также учитываются данные о направлении и скорости ветра, которые доступны в сети Интернет в режиме реального времени. Результатом работы системы является нанесённая на карту местности концентрация загрязняющего вещества (рисунок 1), уменьшение которой зависит как от объёма выброса, так и от метеорологических условий.

Сфера применения разработанной системы достаточно обширна: от организации массовых гуляний и спортивных мероприятий, до поиска наиболее безопасного маршрута эвакуации [5].

Водные ресурсы

Принято считать, что вода имеет для жизни и здоровья человека наиважнейшую после воздуха роль. И хотя человечество осваивает микро— и макрокосмос, проблема простого обеспечения всего населения планеты питьевой водой до сих пор не решена. Более того, согласно прогнозам, данная проблема в ближайшие годы будет только усугубляться. Уже сегодня в ряде регионов России, включая Московскую область, уровень грунтовых вод имеет тенденцию к понижению. При этом даже для благоприятных территорий необходимо уделять достаточное внимание экологическим вопросам.

Особенно это актуально для сельскохозяйственных угодий, где существует проблема смыва и переноса удобрений и прочих химических веществ. Также под постоянный контроль необходимо взять отрасли народного хозяйства, которые являются постоянными загрязнителями водных объектов, а также городские и промышленные стоки.

Проблема аварийных сбросов является глобальной, и касается всей планеты вследствие возможного распространения на огромные расстояния. Даже для госу-



Рис. 1. Моделирование переноса загрязняющих веществ в воздухе

дарств без непосредственного выхода к морю восстановление загрязнённых территорий может растянуться на продолжительный период времени [6].

Расчёт переноса загрязнителей в водных объектах ещё более сложен по сравнению с воздухом, (хотя последний оказывает непосредственное влияние), и сопряжён с анализом гидродинамики.

К числу работ, посвященных математическому моделированию распространения загрязняющих веществ в водных системах, относятся труды ученых Матишова Г.Г., Муравейко В.М., Бердникова С.В., Ильина Г.В., Зуева А.Н., Ильичева В.Г., Кравченко В.В. и др. [7].

Основная часть моделей переноса загрязняющих веществ в водоемах включают уравнения диффузии-конвекции, гидродинамическую составляющую, уравнение переноса вещества.

Проверка и повышение точности таких моделей через натурные замеры концентраций не всегда представляются возможным, и поэтому как правило параметры изучаются и корректируются в лабораторных условиях.

Указанная выше сложность моделей для водных объектов детерминирована в том числе различными процессами взаимодействия с привносимыми примесями [8], основные из которых: перенос с водой, турбулентная диффузия, выпадение и осаждение, обратный переход во взвешенное состояние, сорбция и десорбция, биотический захват, разложение и т.п.

Исходя из выше сказанного, для описания дисперсии загрязняющих веществ принято использовать следующее уравнение:

$$\frac{dC}{dt} = A + D - R + P - Q \quad (2)$$

где C — концентрация вещества; A — изменение концентрации вещества, обусловленное его переносом с потоком водных масс, обычно называемом адвекцией; D — изменение концентрации вещества за счет диффузии; R — убыль вещества из водной среды за счет осаждения на взвесах с последующим отложением; P — изменение концентрации за счет различного рода источников и стоков, седиментации, поглощения биотой (биологического захвата) и т.п.; Q — убыль вещества за счет разложения и распада.

В приведенном выше уравнении (2) адвекция и диффузия и осаждение вредных веществ на взвесах описываются уравнениями [6]:

$$A = U \frac{dC}{dx} + V \frac{dC}{dy} + W \frac{dC}{dz}, \quad (3)$$

$$D = \frac{d}{dx} \left(K_x \frac{dC}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(K_y \frac{dC}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left(K_z \frac{dC}{dz} \right), \quad (4)$$

$$R = mS \frac{dC}{dt}, \quad (5)$$

где U, V, W — скорости перемещения водных масс по направлениям осей; x, y, z — составляющие коэффициента диффузии; S — концентрация взвешенных отложений; m — коэффициент равновесного распределения вещества между отложениями и водой.

По результатам проведённых исследований и анализа существующих моделей и программных продуктов была спроектирована и реализована система для анализа концентраций и прогнозирования переноса за-

Скорость реки, м/с

0.3

Задать точки

Открыть график

Моделировать

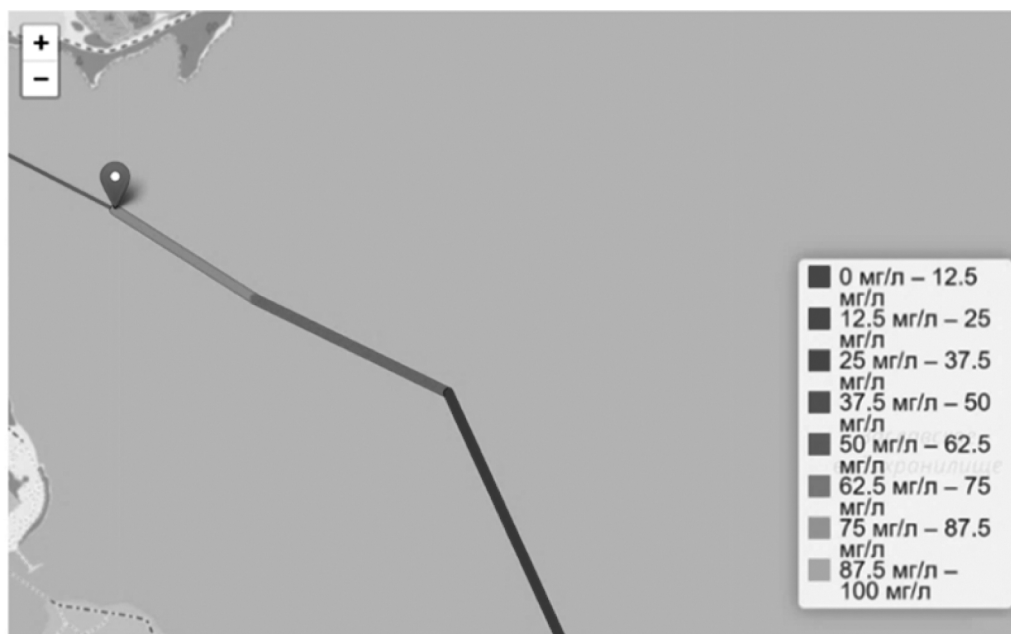


Рис. 2. Моделирование переноса загрязняющих веществ в водном объекте

грязняющих веществ в поверхностных водных объектах. Обязательными входными параметрами при этом являются: масса сброса, концентрация, координаты сброса, скорость течения.

Первый вариант работы предлагает получение прогноза распространения загрязняющего вещества в автоматическом режиме. Второй — позволяет пользователю указать точечные решения (например, полученные реальными замерами), и с использованием методов интерполяции рассчитать пространственное изменение контролируемых параметров с представлением результатов в графическом виде (рисунок 2).

Сфера применения результатов моделирования переноса загрязняющих веществ в водных объектах также представляется достаточно обширной, и может включать в том числе использование для оценки экономической эффективности очистных сооружений. Сокращение при этом концентраций загрязняющих веществ через экологические штрафы и налоги непосредственно влияет на финансовое положение предприятий, и опосредованно на здоровье людей.

Заключение

Важные с научной и практической точки зрения исследования появляются на стыке нескольких направ-

лений, когда развитие информационных технологий и вычислительных мощностей позволяют проводить сложное моделирование и анализ результатов. С другой стороны, учёные в области экологии и санитарной гигиены могут продолжать усовершенствование существующих моделей по пути повышения их сложности и точности без оглядки на ограничение аппаратно-программной реализации.

В ходе проведённых исследований были изучены существующие подходы к моделированию переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и водных объектах. Предложены и программно реализованы две новые подсистемы, результаты работы которых представляют научный и практический интерес.

Подсистема для атмосферного воздуха актуальна для составления карт загрязнения и поиска наиболее безопасного маршрута движения людей. Водная — для анализа и минимизации ущерба окружающей среде от сбросов загрязняющих веществ, источниками которых могут являться сельское и коммунальное хозяйство, промышленность, частный сектор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка уровня антропогенной нагрузки урбанизированных территорий на окружающую среду. (На примере Гомельского района.) / В.А.Рыбак [и др.] // Экология и промышленность России. — 2009. — №11. — С. 48–51.
2. Замай, С.С. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города : учебное пособие / С.С. Замай, О.Э. Якубайлик. — Красноярск, 1998. — С.39–48.
3. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.
4. Рыбак В.А., Рябычина О.П. Обзор методов и средств мониторинга загрязнения атмосферного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия Естественные и технические науки. — 2018. — №4. — С. 76–83.
5. Рыбак В.А., Рябычина О.П. Аппаратно-программный комплекс для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и выбора оптимального маршрута движения // Вестник КамчатГТУ. — 2020. — №52. — С. 6–17.
6. Мониторинг атмосферного воздуха. Белгидромет [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rad.org.by/monitoring/air/>. — Дата доступа: 31.10.2024.
7. Владимиров, В.А. Катастрофы и экология / В.А. Владимиров — М.: Центр стратег. исслед. МЧС: Контакт-Культура, 2000. — 379 с.
8. Мониторинг поверхностных вод в Беларуси. Белгидромет [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rad.org.by/monitoring/aqua.html/>. — Дата доступа: 30.10.2024.

© Рыбак Виктор Александрович (V.Rybak@bsuir.by)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»