

УДК 504.064.3:574

А.Г. ШАПАРЬ, чл.-корр. НАН України, д-р техн. наук, проф., директор Інститута проблем природопользования и экологии НАН України, г. Днепропетровск, Украина

Н.А. ЕМЕЦ, канд. техн. наук, заведующий отделом экологического нормирования Інститута проблем природопользования и экологии НАН України, г. Днепропетровск, Украина

А.Н. БУГОР, ведущий инженер отдела экологического нормирования Інститута проблем природопользования и экологии НАН України, г. Днепропетровск, Украина

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ (БАЗА ЗНАНИЙ) СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В статье содержатся сведения о функциях задачах и структуре системы экологического мониторинга. Приведена классификация моделей, которые могут быть использованы в качестве прогнозных и указаны наиболее перспективные из них. Рассмотрены типичные ситуации, при которых происходит задействование одного из двух сценариев работы экологического мониторинга – сценарий экстренного реагирования или долгосрочного прогнозирования. Была предпринята попытка анализа доступности готовых программных продуктов и работающих моделей для применения их во вновь создаваемых системах экологического мониторинга.

Ключевые слова: экологический мониторинг, функции, структура, классификация математических моделей, отбор моделей, использование, ситуации экстренного реагирования, ситуации долгосрочного прогнозирования.

Понятие мониторинга является очень общим понятием и может быть соотнесено с любым объектом или субъектом окружающей нас объективной реальности. При этом подразумевается как отдельно взятый объект, так и самая великая и сложная из известных человечеству систем – Вселенная.

Справедливости ради следует отметить тот факт, что реализовать в полном объеме все функции, которые включает в себя понятие мониторинга, применительно к системе сколь угодно большой сложности, для человечества на данном этапе развития знаний и технологий нет возможности. Так для случая Вселенной мониторинг ограничивается лишь сбором, накоплением и анализом поступающих данных. И совсем иначе обстоит дело с менее сложными системами, такими как часть земной поверхности заключенной внутри условной границы территории. Применение мониторинга к объектам такого класса уже позволяет вводить управляющую функцию.

Ниже приводится несколько определений

понятия мониторинга, получившие достаточно широкое распространение [1].

Мониторинг – непрерывный процесс наблюдения и регистрации параметров объекта, в сравнении с заданными критериями.

Мониторинг – система сбора/регистрации, хранения и анализа небольшого количества ключевых (явных или косвенных) признаков/параметров описания данного объекта для вынесения суждения о поведении/состоянии данного объекта в целом. То есть для вынесения суждения об объекте в целом на основании анализа небольшого количества характеризующих его признаков.

Мониторинг – систематический сбор и обработка информации, которая может быть использована для улучшения процесса принятия решения, а также, косвенно, для информирования общественности или прямо как инструмент обратной связи в целях осуществления проектов, оценки программ или выработки политики. Он несёт одну или более из трёх организационных функций:

- выявляет состояние критических или находящихся в состоянии изменения явлений окружающей среды, в отношении которых будет выработан курс действий на будущее;

- устанавливает отношения со своим окружением, обеспечивая обратную связь, в отношении предыдущих удач и неудач определенной политики или программ;

- устанавливает соответствия правилам и контрактным обязательствам.

В связи с ростом значения, которое придается правительствами большинства стран, вопросу чистоты окружающей среды приобрел большую актуальность экологический мониторинг.

Экологический мониторинг – информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов [2].

Система экологического мониторинга должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию:

- о состоянии окружающей среды и его изменениях;

- о причинах наблюдаемых и вероятных изменений состояния (т.е. об источниках и факторах воздействия);

- о допустимости нагрузок на среду в целом и на ее отдельные компоненты;

- о существующих резервах биосферы.

В соответствии с приведенными определениями и возложенными на систему функциями мониторинг включает три основных направления деятельности (структурно это выглядит так – рисунок 1):

- наблюдения за факторами воздействия и состоянием среды;

- оценку фактического состояния среды;

- прогноз состояния окружающей природной среды и оценку прогнозируемого состояния.

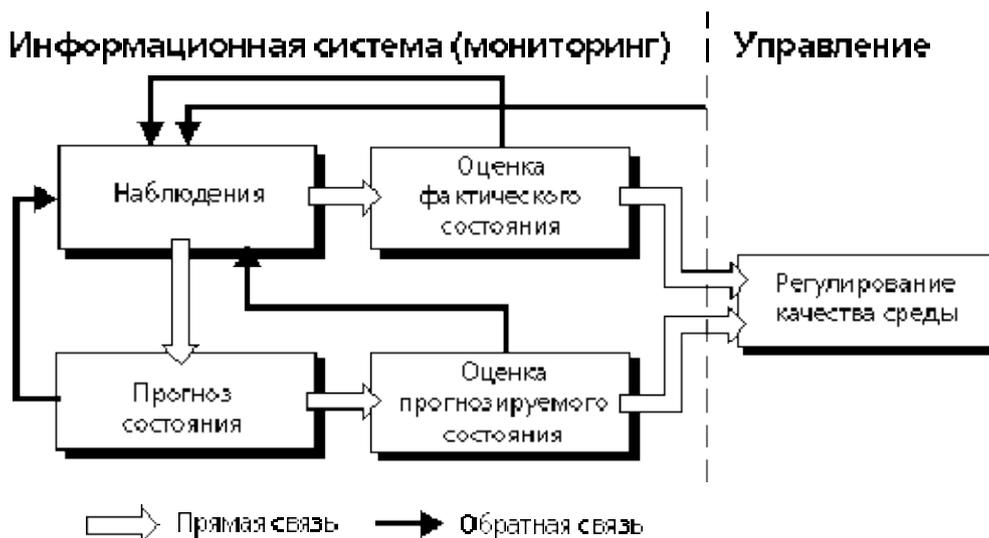


Рисунок 1 – Блок-схема системы мониторинга

Система мониторинга, изображенная на схеме, состоит из четырех блоков, которые могут быть условно разделены на экспериментальную и аналитическую группы.

К экспериментальным относится блок наблюдения. Все, что позволяет осуществлять его функции, будь то материально-техническая база или методики проведения наблюдений, достаточно хорошо разработаны. И к настоящему времени уже имеются действующие автоматические системы, производящие наблюдения в рамках системы мониторинга.

Все, что составляет наполнение остальных блоков, находится в процессе постоян-

ной доработки и совершенствования. Здесь находится огромное поле деятельности для проведения научно-исследовательских работ.

В самых общих чертах, система функционирует следующим образом. Результаты наблюдений поступают из блока «наблюдений» в блок «Оценки фактического состояния» и в блок «Прогноз состояния», а затем, данные прогнозирования передаются в блок «Оценка прогнозируемого состояния». Окончательно обработанная информация поступает в соответствующие органы власти, которые правомочны осуществлять меры по регулированию качества среды.

Следует принять во внимание, что сама система мониторинга не включает деятельность по управлению источниками воздействия, но является источником необходимой для принятия экологически значимых решений информации.

Основная функция блока «Оценки фактического состояния» заключается в том, чтобы по имеющимся дискретным (достаточно немногочисленным) данным наблюдения построить реалистичную картину текущего состояния для всей территории. И далее сравнивая её с нормативными значениями, используя разработанные критерии, получить объективную оценку.

Основная функция блока «Прогноз состояния» - рассчитать наиболее вероятный сценарий развития процессов в будущем. Расчеты производятся на основании методик и моделей. В каждом случае выбор тех или иных методик и моделей обуславливается

различными требованиями, такими как необходимость точности получаемого прогноза, оперативность получения прогноза, долгосрочность прогноза и другими.

В блоке «Оценка прогнозируемого состояния» производится сравнение прогнозируемого сценария развития ситуации с нормативными данными, и в результате получается объективная оценка. В том случае, если оценка не благоприятная производится анализ возможных мер для недопущения развития данного сценария.

В зависимости от того, какая природная среда исследуется, в блоках экологического мониторинга применяются соответствующие методы наблюдения и последующего анализа. Система может содержать в своей базе методы и методики для исследования любой из природных сред, изображенных на рисунке 2, или их полный набор.



Рисунок 2 – Природные сферы, за которыми возможно установить наблюдение с использованием экологического мониторинга

В данной статье рассматривается возможная наполненность системы экологического мониторинга прогнозными моделями и методиками, которые позволяют произвести оценку и прогноз изменений в состоянии атмосферы.

В базе «знаний» блока «Оценка фактического состояния» обязательно должны иметься математические методы интерполяции. Это позволит получить поле распределения исследуемого параметра на всей территории, построенное на основании его точечных значений, полученных по результатам измерений. В настоящее время разработано достаточно много интерполяционных методов, так что подобрать приемлемый не является сложной проблемой. Созданы математические пакеты, в которых эти методы

реализованы в виде программ готовых программ.

Иначе обстоит дело с выбором моделей для «прогнозного блока». Обойтись одной моделью для всех случаев, которые могут возникнуть, не представляется возможным. А значит нужно иметь базу из нескольких моделей, каждая из которых была бы наиболее подходящей в каждом конкретном случае.

Ниже приводится перечень классов математических моделей анализа и прогноза степени загрязнения атмосферного воздуха [3].

1. Простые детерминированные модели. Эти модели основываются на эмпирических данных и формулируются в виде алгебраических соотношений.

Степень загрязнения воздуха может быть оценена по усредненным данным интенсив-

ности поверхностных источников выброса, значениям средней скорости и направления ветра. Эти модели слишком упрощены. Однако они могут быть полезны в качестве предварительного анализа при оценке данных о среднегодовом загрязнении территории, могут указать на необходимость более подробного моделирования загрязнения данной территории.

2. Модели снижения до предыдущего уровня. Этот класс эмпирических моделей связывает прогноз качества воздуха при возращении выбросов и ретроспективные данные по степени загрязнения окружающего воздуха. Они используются при планировании допустимых выбросов загрязнения в атмосферу как метод получения оценки требуемых сокращений выбросов для согласования со стандартами качества воздуха.

3. Статистические модели. При наличии данных наблюдений загрязнения воздуха на станциях дозиметрии и характеристик перемещения воздушных масс на метеостанциях могут быть получены статистические соотношения с использованием регрессивного и спектрального анализа, или иных статистических методов. Эти модели имеют невысокую стоимость разработки и низкие потребности в вычислительных ресурсах.

4. Модели локального выброса и распространения облака загрязнения. Эти модели имеют широкую область применения и относятся к наиболее надежным способам анализа и прогноза качества воздуха при наличии реальных входных данных о профиле ветра и соответствующих коэффициентах диффузии.

Учитывается то, что облако загрязняющих веществ движется по воздуху под воздействием среднего ветра, рассеиваясь из-за турбулентной вихревой атмосферной диффузии. Во время движения облака в воздухе плотность загрязняющих веществ в нем изменяется из-за диффузии, влажных и сухих выпадений, химических превращений или радиоактивного распада.

Однако при отсутствии надежных метеорологических данных и характеристик диффузионного переноса область применения моделей локальных выбросов и струй ограничена, особенно для случая сложного рельефа местности.

5. Модели контрольных объемов. Модели этого класса базируются на записи

интегральной формы уравнения переноса и диффузии примеси для выделенного объема. Этот контрольный объем может представлять собой некоторый район над территорией города, область исследования загрязненности воздуха в глубокой долине или подобные характерные пространственные области. Полагается, что воздух и загрязняющие вещества в каждой выбранной области хорошо перемешаны, допускаются процессы химических и других типов превращений или реакций нейтрализации, а также выпадения примесей.

В этот класс входят "балансовые" модели, основанные на использовании контрольного объема с основанием на поверхности земли и верхней границей на поверхности слоя инверсии (вершине слоя перемешивания). Боковые поверхности объема расположены так, чтобы охватить исследуемую зону. И модели типа "методы частиц для описания распространения загрязнения". Такие модели базируются на использовании гипотетического столбца воздуха, который движется вдоль заданной траектории над рассматриваемым регионом.

Недостатками таких моделей являются то, что условие перемещения воздуха и загрязняющих веществ определяется с большими упрощениями турбулентных режимов движения воздушных масс в атмосфере, а также совсем не учитывается вертикальная конвекция воздуха.

6. Сеточные модели на базе конечно-разностных методов. Сеточные модели базируются на решении уравнений переноса и диффузии загрязняющих веществ с использованием различных конечно-разностных методов. Эти модели эффективны для оценок кратковременных загрязнений воздуха реагирующими примесями и позволяют рассчитать концентрации примесей в областях, где существенное влияние оказывает рельеф местности типа сложной городской застройки, рельеф с глубокими долинами и возвышенностями.

Сложные сеточные модели позволяют учесть химические реакции в загрязненном воздухе, изменение аэрозольных частиц при конденсации или испарении, сухое и влажное выпадение загрязняющих веществ.

Сеточные модели, являясь лучшими из существующих моделей для учета сложных физических процессов, требуют больших

затрат компьютерного времени и памяти ЭВМ.

Другой проблемой, связанной с использованием сеточных моделей, является недостаточная полнота и точность в задании метеорологических явлений, ошибки в задании констант химических реакций.

Можно выделить четыре направления математического моделирования на базе сеточных моделей:

- моделирование конвективного и диффузионного распространения примесей;
- моделирование эффектов турбулентности;
- моделирование процессов химических превращений в загрязненном воздухе;
- моделирование процессов распространения аэрозольных примесей.

7. Физическое моделирование процессов загрязнения атмосферы.

Аэродинамическая труба, гидроканал, гидрлоток – это наиболее типичные технические средства физического моделирования.

При исследованиях наиболее интересной представляется возможность имитации рассеивания примесей на объектах сложной геометрической конфигурации, когда расчет с использованием адекватной математической модели экономически не выгоден.

Примерами таких сложных геометрических объектов являются: горные местности, городские комплексы построек, явления изменения структуры потоков воздушных масс вблизи отдельных дымовых труб или зданий. Физическое моделирование позволяет имитировать образование циркуляционных зон около типичных видов городской застройки или для рельефа местности, сочетающей горы и долины.

Особое значение имеют результаты физического моделирования для настройки и проверки результатов математических прогнозов, пополнения данных в математических моделях при различных формальных предположениях.

Из всего приведенного выше перечня классов моделей в первую очередь стоит обратить внимание на класс «простых детерминированных моделей» (ПДМ). Они могут и без сомнения должны быть использованы в системе экологического мониторинга в тех случаях, когда нужно оперативно получить предварительный анализ при

оценке данных о загрязнении атмосферы. Данные полученные с их помощью дают возможность определиться с необходимостью дальнейшего более подробного моделирования загрязнения данной территории.

Следующий класс моделей представляющих практический интерес для использования их в системе мониторинга – «статистические модели». По области применимости они, так же как и простые детерминированные модели, могут быть отнесены к моделям, позволяющим оперативно получить результат, а по точности их превосходят. В тех случаях, когда использование ПДМ привело к выводу о необходимости дальнейшего уточнения ситуации становится целесообразным использование статистических моделей. Время счета при этом возрастает, но полученные данные уже не считаются оценочными, а являются вполне ответственными. Опираясь на них можно принимать обоснованные решения о необходимости тех или иных действий.

Наиболее перспективными, по мнению авторов, являются модели класса «сеточные модели на базе конечно-разностных методов». Включение таких моделей в базу системы может рассматриваться как приоритетное направление при создании мониторинга. Дело в том, что данный класс содержит в себе универсальные и гибкие модели. Если, к примеру, использовать сеточную модель содержащую только одно уравнение переноса вредной примеси, то скорость расчета будет достаточно велика, хотя и меньше скорости счета по ПДМ, а точность результата выше. Если включить в модель уравнения учитывающие конвективный перенос, то скорость счета упадет, но точность станет соизмерима с точностью получаемой при использовании статистических моделей. Ну а если попытаться использовать дополнительно уравнения, учитывающие турбулентный перенос, то точность еще возрастет, что позволит использовать данную модель для долгосрочного прогноза.

Все ситуации для расчета которых должны быть задействованы математические модели системы мониторинга подразделяются на:

- экстренного реагирования;
- долговременного прогнозирования.

Ситуации экстренного реагирования являются такими, когда расчет и анализ дол-

жен быть произведен в наиболее сжатые сроки, для того, чтобы иметь возможность повлиять на ситуацию в нужном направлении. Примеры таких ситуаций. Один или несколько датчиков зафиксировали значительное увеличение измеряемого параметра. Использование модели из класса оперативных, позволит правильно оценить ситуацию и объяснить истинную причину наблюдаемого явления. Станет понятно является ли данное увеличение показателя датчика следствием, скажем, сложившихся неблагоприятных метеоусловий, и уже в скором времени ситуация вернется к нормальному состоянию. Или причиной такого увеличения значения параметра является негативное воздействие факторов антропогенного характера, и тогда нужно предпринимать действия по нормализации выбросов производимых некоторым предприятием. Гидрометцентр передает предупреждение о возможности наступления неблагоприятных метеоусловий на данной территории. Использование моделей позволит оперативно определить хозяйственная деятельность каких именно предприятий в данных условиях может привести к нежелательным последствиям, и рассчитает до какого уровня необходимо снизить производственную мощности для того, чтобы избежать нежелательного эффекта. Или технологический процесс пошел с не расчетными параметрами, в силу чего электроника сигнализирует о том, что через некоторое время будет произведен не санкционированный выброс в атмосферу, с целью предотвращения разрушения конструкций. И в такой ситуации использование модели позволит оценить угрозу, которую представляет выброс для окружающей среды, время его самостоятельной нейтрализации, предоставит информацию на основе которой возможно принять решение о целесообразности (или нецелесообразности) дополнительных технических мер.

Ситуации необходимости долгосрочного прогнозирования возникают тогда, когда нет возможности на основе показаний датчиков однозначно сказать, как в дальнейшем будет развиваться ситуация. Допустим, долгосрочное наблюдение за некоторым датчиком показало, что величина измеряемого им параметра демонстрирует постоянные циклы роста и падение. На взгляд человека картина носит случайный характер. Но при-

менение моделей позволяющих произвести расчет долгосрочного прогноза позволит достоверно утверждать, что и в будущем показания датчика не превысят допустимых значений, а значит, оснований для опасений нет. Либо наоборот позволят показать, что в будущем подобные колебания накопятся и приведут к нежелательным последствиям, т.е. необходимо какое-то противодействие. Или проектирование нового (модернизация) существующего производства может быть рассчитано с точки зрения того, какое воздействие будет оказываться на расположенные неподалеку населенные пункты. В таком случае нужно учитывать и то как будет меняться ныне незастроенный пригород. Тем самым решается задача долгосрочного прогноза распространения загрязнения над территорией, меняющей во времени свой рельеф.

Многие из приведившихся в статье моделей реализованы в виде коммерческих программных продуктов. Их цена достаточно существенна. Но имеется возможность получить во временное пользование так называемые «Демо» версии. Что позволит бесплатно опробовать их применимость в системе мониторинга. Практически все модели использовались в то или иное время в научных исследованиях. И значит, имеется реальная возможность, установив связи с соответствующими организациями, получить в свое распоряжение работающие программы. Еще одной возможностью обзавестись необходимыми программами является возможность заказать их программисту.

В любом случае, по мнению авторов, функционирование системы экологического мониторинга без использования возможности анализа ситуации и принятия на её основе управляющих решений является неправильной ситуацией. В силу того, что столь усеченный вариант системы не позволяет использовать все возможности, потенциально заключенные в ней.

Все системы мониторинга необходимо комплектовать аналитическими блоками. Это позволит более гибко и объективно реагировать на различные ситуации, которые будут возникать. А человек-оператор в силу ограниченности своих возможностей не всегда может разобраться в ситуации. Вот в таких случаях наличие аналитической составляющей окажет неоценимую помощь.

Перечень ссылок

1. Стаття в Википедии. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Мониторинг>.
2. Экологический мониторинг: шаг за шагом / [Е.В. Веницианов и др.]; под ред. Е.А. Заика. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. – 252 с.
3. Беляев Н.Н. Прогнозирование качества воздушной среды методом вычислительного эксперимента / Н.Н. Беляев, Е.Д. Коренюк, В.К. Хрущ. – Днепропетровск : Наука и образование, 2000. – 208 с.

*Стаття надійшла до редколегії 06.09.2013 р. російською мовою.
Стаття рекомендована членом редколегії д-ром геол. наук О.К. Тяпкіним.*

А.Г. ШАПАР, М.А. ЄМЕЦЬ, А.М. БУГОР

*Институт проблем природокористування та екології НАН України,
м. Дніпропетровськ, Україна*

АНАЛІТИЧНА СКЛАДОВА (БАЗА ЗНАНЬ) СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Стаття містить відомості про функції завдання і структуру системи екологічного моніторингу. Наведено класифікацію моделей, які можуть бути використані в якості прогнозних і зазначені найбільш перспективні з них. Розглянуто типові ситуації, при яких відбувається залучення одного із двох сценаріїв роботи екологічного моніторингу - сценарій негайного реагування або довгострокового прогнозування. Відбулася спроба аналізу доступності готових програмних продуктів і працюючих моделей для застосування їх у знову створюваних системах екологічного моніторингу.

Ключові слова: Екологічний моніторинг, функції, структура, класифікація математичних моделей, що до відбору моделей, використання, ситуації негайного реагування, ситуації довгострокового прогнозування.

A.G. SHAPAR, M.A. YEMETS, A.N. BUGOR

*Institute for Nature Management Problems and Ecology of National Academy
of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine*

ANALYTICAL CONSTITUENT (BASE OF KNOWLEDGES) OF THE SYSTEM OF THE ECOLOGICAL MONITORING

Information about functions tasks and structure of the system of the ecological monitoring is contained in the article. There is classification of models that can be used as a prognosis and indicated most perspective from them. Typical situations where involvement of one of the two scenarios of environmental monitoring - the scenario of immediate response or long-term prognostication are considered. The attempt of analysis of availability of the prepared programmatic foods and working models for application of them in the recreated systems of the ecological monitoring was undertaken.

Keywords: Ecological monitoring, functions, structure, classification of mathematical models, take-off models, use, situations fast response, situations of long-term forecasting.