

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ УЧЕТА И ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Проблема улучшения экологии включает решение множества весьма сложных, нелинейных, трудно формализуемых и требующих знаний по многим аспектам экологии, в том числе по мониторингу окружающей среды. В целом любая мониторинговая система должна рассматриваться как мониторинговая экспертная система, которая выполняет контроль над состоянием среды и помогает человеку влиять на это состояние. Решение экологических задач в данное время представляет собой сложную проблему для всех стран мира. В первую очередь необходимо говорить об экономических трудностях решения экологических задач. Вести разработки, создавать и использовать специальные экологические системы (информационные, исследовательские и т.п.) стоит очень дорого, поэтому не все страны в состоянии поддерживать их состояние. Но, если не возникает трудностей в цене, на смену приходят другие – конструктивные, технические и другие проблемы.

Современные средства экологического мониторинга и обеспечивающие их информационно-управляющие системы представляют собой сложные многофункциональные многорежимные распределенные системы. В таких системах осуществляется совместная обработка сложно организованных данных и знаний. Они должны разрабатываться на основе современных информационных технологий, которые обеспечили бы им существенное повышение уровня информационной и интеллектуальной поддержки. Проблемы информатизации при решении экологических задач принимают фундаментальный характер в связи с широким применением локальных и глобальных вычислительных сетей. Эффективность предсказания развития экологической ситуации (в том числе и разрушений) в том или ином районе, на предприятии или объекте зависит от решения этих проблем.

Выходом из создавшегося положения является использование информационных технологий, основанных на знаниях. Представление и организация обработки знаний о предметной области обеспечивается в таких системах в целях повышения эффективности управления и процесса принятия решений на различных уровнях иерархии. Актуальность рассмотрения такого класса систем обусловлена их способностью к накоплению и обобщению знаний, к выработке гипотез и прогнозу, и принятию решений. При решении экологических задач возникают ситуации, когда, либо отсутствуют необходимые датчики первичной информации, либо существующие средства измерений не обеспечивают получение требуемой информации в темпе с процессом, либо в наличии имеется лишь

качественная информация об объекте управления. В таких ситуациях необходимо иметь информационные технологии, которые позволяют на основе компьютерной обработки качественной или нечеткой информации об объекте получить требуемую информацию для управления.

Экологический мониторинг рассматривается как система наблюдений и оценки состояния окружающей среды, а также как средство информационного обеспечения процесса подготовки и принятия управленческих решений. Исходя из этого, к задачам экологического мониторинга относят:

- повторяющиеся в пространстве и во времени наблюдения за состоянием природных объектов и антропогенными воздействиями на окружающую среду;
- оценка по данным наблюдений интегральных показателей воздействия на окружающую среду и экологических рисков;
- прогнозирование последствий того или иного хозяйственного решения, а также вероятностей катастрофических природных явлений – как обусловленных антропогенными воздействиями, так и не связанных с ними;
- информационное обеспечение подготовки и принятия управленческих решений по охране природы и здоровья человека.

Считается, что экоинформационные системы включают в себя системы экологического мониторинга и служат функциональной основой процесса управления экологически-безопасного развития на различных иерархических уровнях территориального деления. В любом случае экоинформационная система должна обеспечивать решение множества задач:

- подготовка интегрированной информации о состоянии окружающей среды, прогнозов вероятных последствий хозяйственной деятельности и рекомендаций по выбору вариантов безопасного развития региона для систем поддержки принятия решения;
- имитационное моделирование процессов, происходящих в окружающей среде, с учетом существующих уровней антропогенной нагрузки и возможных результатов принимаемых управленческих решений;
- оценка риска для существующих и проектируемых предприятий, отдельных территорий и т.п., с целью управления безопасностью техногенных воздействий;
- накопление информации по временным трендам параметров окружающей среды с целью экологического прогнозирования;

- подготовка электронных карт, отражающих состояние окружающей среды региона;
- составление отчетов о достижении целей устойчивого развития для федеральных и международных организаций;
- обработка и накопление в базах данных результатов локального и дистанционного мониторинга и выявление параметров окружающей среды наиболее чувствительных к антропогенным воздействиям;
- обоснование оптимальной сети наблюдений для региональной системы экологического мониторинга;
- обмен информацией о состоянии окружающей среды (импорт и экспорт данных) с другими экоинформационными системами;
- предоставление информации, необходимой для контроля за соблюдением принятых законов, для экологического образования, для средств массовой информации и т.д.

Таким образом, экоинформационные системы должны быть ориентированы на комплексное использование результатов экологического мониторинга, обеспечивая преобразование первичных результатов измерений в форму, пригодную для поддержки принятия решений, способствующих устойчивому развитию отдельных регионов и планеты в целом. По мере перехода от первичных результатов экологического мониторинга к знаниям о состоянии окружающей среды, меняются методы работы с информацией.

В экоинформационной системе можно выделить три уровня, ориентированных на решение различных задач экологического мониторинга и отличающихся по методам работы с экологической информацией. Верхний уровень составляют программные модули для поддержки принятия решений, средний – программное обеспечение, позволяющее провести системный анализ информации о состоянии окружающей среды, а нижний – модули обработки первичной экологической информации.

На нижнем уровне экоинформационной системы для хранения данных о состоянии окружающей среды используются различные системы управления базами данных (СУБД), а для обработки результатов наблюдений используются различные программные продукты – электронные таблицы, пакеты прикладных программ типа MathCAD, Surfer и многие другие. Такое разнообразие программного обеспечения обусловлено громадным числом разноплановых задач обработки результатов наблюдений за состоянием

окружающей среды, полученных с помощью локальных и дистанционных методов экологического мониторинга.

На среднем уровне экологической информационной системы для анализа информации о состоянии окружающей среды используются географические информационные системы (ГИС). Подобные системы, обеспечивая ввод, хранение, обновление, обработку, анализ и визуализацию всех видов географически привязанной информации, позволяют систематизировать выдачу такой информации для управления природными ресурсами, реализуя опыт, накопленный специалистами в этой области.

Информационные системы экологической безопасности, ориентированные на поддержку принятия решений, должны удовлетворять ряду новых требований, которые необходимо выполнить в процессе их построения. Для обеспечения поддержки принятия решений необходим еще один этап работы с информацией, позволяющий соотнести получаемые результаты со шкалой «хорошо – плохо». Такое соотнесение, прямо или косвенно, основывается на результатах мониторинга и имеет ряд специфических моментов – как научно-методических, при свертывании громадных объемов первичной информации, так и психологических, при представлении полученных результатов лицам, принимающим решения. В будущем системы поддержки принятия решений в области экологической безопасности неизбежно будут основываться на математическом моделировании процессов, происходящих в природе. Это неудивительно, так как схема «модель – гипотеза - эксперимент - установленный факт» составляет основу процесса познания практически в любой из многочисленных областей современной науки. В рамках математических моделей станет возможно и сопоставление между собой сведений из разных источников, и свертывание результатов мониторинга, и прогнозирование последствий того или иного хозяйственного решения.

Следующим этапом мониторинговых исследований являются обработка, анализ и обобщение полученных исходных материалов. Наиболее простые способы их систематизации связаны с построением таблиц, графиков, диаграмм, сравнением параметров состояния изменённой человеком среды с фоновыми и нормативными показателями. Более сложные методы обобщения материалов включают картографирование собранных данных, математико-статистический анализ рядов наблюдений, математическое моделирование объектов исследования. Вся эта информация является основой для формирования баз данных геоинформационных систем (ГИС) - систем автоматизированного сбора, хранения, переработки и выдачи геоэкологических материалов, необходимых для управления состоянием окружающей среды.

Картографирование исходной информации.

Эффективность использования данных, полученных в результате аэрокосмических и наземных наблюдений, существенно возрастает, если они представлены в пространстве, т.е. положены на карту. Иначе говоря, в системе мониторинга важное место должно отводиться картографической составляющей - контролю, оценке и прогнозу состояния окружающей среды с помощью построения и анализа карт различного масштаба и содержания.

Построение мониторинговых карт включает:

- а) создание фонда базовой картографической информации, содержащего различные карты, составленные на основе имеющихся к началу наблюдений материалов;
- б) сбор, обработку и систематизацию оперативных данных аэрокосмических и наземных наблюдений с целью их картографирования;
- в) перевод обработанных данных в картографическую форму - построение оперативных карт развития наблюдаемых явлений, условий их распространения и происходящих при этом изменений;
- г) анализ построенных карт с целью выявления закономерностей распространения наблюдаемых явлений, оценки и прогноза состояния окружающей природной среды.

По виду представляемой информации выделяют четыре группы геоэкологических карт: инвентаризационные, структурно-типологические, оценочные и прогнозные.

Как видно из практики картографирования, основным направлением работ является создание инвентаризационных карт, которые показывают размещение хозяйственных объектов и параметры их воздействия на окружающую природную среду. Реже составляются структурно-типологические карты, отражающие результаты районирования территории в соответствии с определённой классификацией природных комплексов. Важное место занимают оценочные геоэкологические карты. Они составляются, как правило, на основе учёта стандартных критериев качества среды, т.е. оценка сложившейся экологической ситуации производится исходя из предельно допустимых концентраций вредных веществ, кларковых значений, индексов сапробности (степени насыщенности воды разлагающимися органическими веществами) и других показателей. Наконец, среди прогнозных геоэкологических карт выделяются карты, построенные в результате статистических прогнозов по рядам наблюдений за развитием процессов на изучаемом

объекте-аналоге. Результаты имитационного математического моделирования (как и экспертного оценивания) при создании прогнозных карт пока практически не используются.

По срочности представления информации особую ценность имеют карты опасных явлений, составляемые в достаточно крупном масштабе (1: 100000 - 1: 1 000000). Они должны создаваться на основе аэрокосмических снимков и отражать внешние условия, а также закономерности распространения и развития наблюдаемых процессов. Так, картографическое обеспечение мониторинга лесных пожаров должно предусматривать создание карт, на которых необходимо указать очаги скрытых и явных пожаров, отметить направление и скорость ветра, районы развития гроз, характеризовать участки формирования торфяно-болотных ландшафтов, показатели влажности напочвенного и почвенного покровов и т.п. Другими словами, на картах необходимо показать факторы пожарной опасности, выявить пожароопасные территории, определить возможные ареалы и вероятную интенсивность возгорания лесных насаждений.

Оперативные мониторинговые карты - основа для оповещения заинтересованных организаций, планирования и проведения природо-охранных мероприятий. Эти карты вместе с результатами анализа должны не только вовремя направляться потребителям, но и одновременно пополнять (на основе обратной связи) фонд базовой картографической информации геоэкологического содержания.

В настоящее время для составления карт загрязнения природной среды (в том числе и оперативного назначения) широко используется компьютерная техника. Выделяются три основных подхода к отображению геохимических данных, лежащих в основе комплексного геоэкологического картографирования.

Первый подход - это создание моноэлементных компьютерных карт распределения загрязнителей в различных географических средах (снеге, почвах, растительном покрове). Для картографирования используются цифровые модели "рельефа" геохимических полей, позволяющие проводить машинную интерполяцию геохимических данных. В компьютер вводится информация о базисных точках, включая их координаты и величины интересующих геохимических параметров. Затем с помощью специально разработанной программы интерполяции на экране дисплея автоматически строятся моноэлементные карты, которые позволяют выявить специфику пространственного распределения загрязнений, их состав, контрастность ореолов рассеяния. После этого участки

распространения приоритетных для исследуемой территории загрязнителей выводятся на печать или расчерчиваются с помощью графопостроителя.

Второй подход позволяет создавать не только моноэлементные, но полиэлементные карты, на которых изображаются поля суммарного загрязнения территории совокупностями элементов и соединений. Такие карты не только имеют важное значение для индикации степени загрязнения территории, но и могут быть использованы для эколого-геохимического нормирования.

Третий подход - это комплексное эколого-геохимическое картографирование с целью оценки, типологии и районирования территории, проводимое с учётом природных условий, влияющих на распределение, миграцию и трансформацию загрязнителей. Это направление ещё находится в стадии становления и позволяет не только индицировать состояние среды, но и в перспективе выявлять ответные реакции природных и природно-антропогенных геоэкосистем на техногенное воздействие.

Математико-статистический анализ рядов наблюдений.

Данные, получаемые в процессе мониторинга, как правило, представляют собой ряды последовательных изменений изучаемых показателей во времени, т.е. так называемые временные или динамические ряды наблюдений. Временной ряд обычно рассматривается как сумма детерминированной и случайной компонент. Появление случайной ком-поненты оценивается с некоторой вероятностью. Детерминированная же компонента выражается определённой аппроксимирующей функцией, отражающей закономерности развития исследуемого в процессе мониторинга явления.

Обработка временных рядов с целью их последующего анализа включает вычисление средних характеристик ряда и отклонений от средних величин, выявление общей тенденции развития изучаемого процесса (т.е. тренда), сглаживание и фильтрацию отдельных частот ряда, определение ритмичности (цикличности) колебаний изучаемых величин, корреляцию временных рядов, прогнозирование последующих изменений показателей исследуемого процесса.

Среди этих операций особое значение имеют выявление и анализ тренда и установление зависимостей между факторами, которые изменяют показатели ряда, и его переменными с целью прогнозирования изучаемого процесса

Обычно считают, что основная тенденция (тренд) представляет собой результат влияния комплекса причин, действующих на изучаемый процесс в течение длительного времени, т.е. она характеризуется детерминированной составляющей временного ряда. Нередко эта тенденция затухает под воздействием менее существенных случайных факторов. Для исключения или ослабления случайного воздействия производится выравнивание (сглаживание) временного ряда. С этой целью используются различные фильтрующие функции (например, способы скользящей средней, взвешанной скользящей средней и др.). Затем определяется аналитическое выражение выровненного (сглаженного) ряда, которое может быть использовано для прогнозирования изменения изучаемого показателя методом экстраполяции (т.е. продления выявленных закономерностей развития исследуемого процесса за пределы времени их проявления).

Для установления зависимости между формирующими факторами и переменными временного ряда по данным наблюдений строятся графики связи, корреляционные таблицы, вычисляются коэффициенты корреляции, определяются аналитические выражения связей. В качестве аналитических выражений чаще всего выступают уравнения регрессии, которые показывают количественные соотношения между факторами и переменными временного ряда. Среди них особое место занимают уравнения множественной регрессии, устанавливающие зависимость изменения исследуемого показателя одновременно от нескольких формирующих факторов. Они часто служат непосредственным инструментом для составления прогнозов.

Прогноз геоэкологических явлений по их временным рядам вполне реален, если определена основная тенденция развития и возможна её дальнейшая экстраполяция или установлены зависимости между факторами, определяющими ход процесса, и изменением его показателей во времени.

Следует, однако, отметить, что при использовании рассмотренных методов выявления и прогнозирования динамики природных и природно-антропогенных процессов возникает проблема выбора факторов их формирования, которая не может быть решена чисто статистическим путём. Необходимо глубокое изучение существа исследуемых явлений и их геоэкологического содержания. Поэтому применение статистических методов обработки материалов наблюдений должно опираться на генетический анализ процессов, которые происходят в природе и обществе.

Математическое моделирование объектов мониторинга.

Пока антропогенные изменения природной среды носили в основном локальный характер, их оценка и прогноз могли быть получены на базе непосредственных наблюдений. Однако по мере перерастания этих изменений в региональные и глобальные локальных наблюдений, как бы важны они ни были, оказалось уже недостаточно, ибо выявить общепланетарный эффект техногенеза по данным фрагментарных исследований пока не представляется возможным. Экспериментировать с биосферой на региональном, а тем более на глобальном уровне человек не может. Трудности таких экспериментов носят не только технический и экономический характер: исследователь не имеет права идти на риск, меняя тем или иным образом условия функционирования таких уникальных объектов, какими являются биосфера и её отдельные крупные части.

В этой ситуации наиболее перспективным путём изучения и прогнозирования состояния геосистем является математическое моделирование процессов, протекающих в биосфере на глобальном, региональном и локальном уровнях. При этом особое значение приобретает машинная имитация - проигрывание на компьютере возможных вариантов поведения (смены состояний) природных и природно-антропогенных систем под влиянием изменения внешних (в том числе техногенных) факторов. Модели основаны на использовании математических уравнений, описывающих массо- и энергоперенос в природной среде. Применение компьютеров позволяет имитировать изменение состояния геосистем и их компонентов посредством реализации на моделях ретроспективных и прогнозных сценариев, что существенно расширяет возможности анализа функционирования этих объектов. Математические модели, построенные по этим принципам, называют имитационными. Они позволяют логически увязать эмпирические знания о различных процессах, наблюдаемых в геосистемах, и на основе машинного эксперимента получить непротиворечивые количественные данные об их изменении во времени и пространстве.