

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8415219>

Сурайё Абдуллаева

Старший преподаватель кафедры «Системы энергоснабжения» Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада

Аннотация

Проблемы экологии стали практически самыми злободневными на сегодняшний день. Динамичное освоение природных богатств и развитие форсированными темпами технологии производства привело к росту материального благополучия человека, но и способствовало углублению экологического коллапса. Для решения зарождающихся проблем необходимо оказать содействие балансу экологической безопасности и экономической эффективности деятельности всего комплекса народного хозяйства.

Ключевые слова

экологический мониторинг, математическое моделирование природы, экосистема, экологические процессы, методы прогнозирования, концептуальные модели.

Annotation

Environmental problems have become almost the most topical today. The dynamic development of natural resources and the development of production technology at an accelerated pace led to an increase in the material well-being of a person, but also contributed to the deepening of the ecological collapse. To solve emerging problems, it is necessary to promote the balance of environmental safety and economic efficiency of the entire complex of the national economy.

Key words

ecological monitoring, mathematical modeling of nature, ecosystem, ecological processes, forecasting methods, conceptual models.

Введение. За истекшее десятилетие масштабы антропогенного и техногенного влияния на окружающую природную среду порождают колоссальные отрицательные отклики в экосистеме. Неконтролируемое техногенное влияние на природу значительно загрязняет среду обитания человека, чистую питьевую воду, продукты питания, негативно воздействует на здоровье населения, способствует возникновению зон экологического

кризиса. Задача снижения экологического риска, повышение уровня экологической безопасности, разумное управление экологической ситуацией становятся основной задачей.

Научно-технический прогресс крайне отрицательно сказывается на природе. Загрязнения окружающей среды от промышленных комплексов вызывают тревогу экологов. Проблема защиты окружающей среды актуальна для всех промышленно развитых стран. В этой ситуации нужен широкомасштабный и эффективный контроль состояния природы в мегаполисах, на экологически опасных объектах для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития.

Актуальная информация о состоянии природной среды нужна для комфортной жизни, ведения устойчивого хозяйства, строительства, при чрезвычайных ситуациях. Изменения в состоянии природы происходят под действием природных процессов и негативной человеческой деятельности. Потребность прогноза антропогенных изменений в природе неординарная задача.

В мире регулярно ведется мониторинг климатических изменений. Это метеорологические, фенологические, сейсмологические и другие наблюдения состояния окружающей среды. Расширяется круг наблюдений за природой, число измеряемых параметров, увеличивается количество наблюдательных станций. Системы мониторинга окружающей среды становятся сложнее с каждым днем[1].

Материалы и методы. Решение проблем анализа экологических ситуаций, оценки экологического состояния, а также создание компьютерных систем экологического мониторинга и прогнозирования уместно реализовывать на основе математического моделирования, описывающего особенности экологических процессов.

Экологическая система представляет собой сложную систему, обусловленную следующими признаками:

- множество взаимосвязанных и взаимодействующих элементов;
- многофакторность цели;
- взаимодействие различных подсистем;
- управление информационными, энергетическими, вещественными потоками в системе;
- случайный и неколичественный характер изменения факторов;
- взаимодействие с внешней средой.

Экосистема - это саморегулируемый комплекс, стремящийся достигнуть стабильного состояния. Наличие прямых, внутренних или внешних обратных связей делает это возможным. Саморегулирование, основанное на отрицательных обратных связях, осложняется вторичными реакциями и предельными воздействиями на экологические объекты.

С помощью системного экологического анализа можно с определенной вероятностью прогнозировать характер, масштабы и формы взаимосвязей и взаимодействий в экологии, анализировать устойчивость, адаптацию различных объектов экологии. Инструментами системного экологического анализа обычно используют физическое и математическое моделирование, методы оптимизации, теорию множеств и преобразований и другие методы[2].

На сегодняшний день существуют разнообразные методы прогнозирования. Они различны по количественной, качественной природе, надежности, точности, математическому аппарату, характеристикам объекта прогнозирования и другим применяемым методам. В процессе развития закономерности формулировались на основании анализа и обобщения методов прогнозирования объектов.

Как известно производство воздействует на широкий объем природных компонентов: шумы, вибрации, вредные выбросы в сточные воды и атмосферный воздух, большое количество отходов в виде добытых сопутствующих месторождению пород и др. Предотвращению или уменьшению последствий нестандартных, а также аварийных ситуаций, сопровождающихся выбросом загрязняющих веществ, способствует система мониторинга на основе экологического моделирования. Для получения точного описания экологической ситуации нужно иметь адекватную модель, которая отражает экологическое состояние объекта. Эффективность экологического моделирования определяется идентификацией и прогнозированием экологической ситуацией, основанной на анализе экологической информации. Эта задача успешно решается методами математического моделирования экологической безопасности.

Математическое моделирование экологических систем и процессов – это научное направление, с эффективным познанием экологических процессов в окружающем мире, которое позволяет приблизить практику управления этими процессами. Притом математическое моделирование и экспериментальные наблюдения являются дополнением и развитием друг для друга.

Применение методов системного экологического анализа необходимо для исследования характера, формы и масштабов экологических взаимосвязей, анализа устойчивости и адаптации объектов экологии. Экологические модели - это сложные системы. Построение экологических моделей очень трудный процесс.

Применение новых методов производства, разработка экологически чистых способов утилизации отходов, переход к безотходным технологиям - это основные направления уменьшения негативного воздействия техногенные комплексы на экологическую ситуацию. Помимо этого, необходимо изучить влияние его на окружающую среду и решение задач прогнозирования на основе применения экологических моделей и методов экологического моделирования. Рассмотрение задач экологии с точки зрения их представления как объекта моделирования подразумевает решение задачи системного экологического анализа.

Для количественного изучения динамики экосистем применяют методы математического моделирования. Модель упрощается, по сравнению с оригиналом, но отражает его определенные свойства. Модели по способу построения подразделяют на: материальные и идеальные[3].

Материальные модели используют в проектировании больших промышленных комплексов, которые связаны с преобразованием природы. Модели сооружений изготавливают в лабораториях, исследуют процессы, которые происходят при запрограммированных действиях. Эти модели используют в технических целях, но они не подходят для решения проблем экологии. Поэтому огромное значение для экологии имеют идеальные модели: математические, графические, имитационные, концептуальные.

Графические модели это - блок-схемы, раскрывающие зависимость процессов в виде графиков, таблиц.

Концептуальные модели это - блок-схемы, имитирующие воздействия подсистем и процессов в крупных системах.

Огромное значение для экологии имеют концептуальные и математические модели.

Концептуальная модель- это вариант более формализованного и систематизированного варианта традиционной естественнонаучной модели рассматриваемой экосистемы, которая состоит из научных текстов, блок-схем, таблиц, графиков и других иллюстративных материалов. Назначение концептуальной модели - это обобщенное, ясное и полное представление определенными средствами научной концепции исследуемой системы.

Энергетическая или биохимическая концептуальная модель – это блок-схема потоков вещества, трофические связи в экологической системе, которые пояснены текстом, таблицами, графиками, раскрывающими состав, структуру и определенные аспекты функционирования экосистемы.

Достоинствами концептуальных моделей считается универсальность, гибкость, многообразие средств выражения и т.д., благодаря которым их можно применять к различным системам, однако у них имеются и недостатки: высокая степень неоднозначности интерпретации, статичность, которые затрудняют описание процессов в динамических системах.

При экологическом моделировании можно использовать 3 группы математических средств – теорию множеств и преобразований, матричную алгебру, разностные и дифференциальные уравнения. Теорию множеств и преобразований можно использовать для моделей различных свойств. Изучение и классификация экосистем на ее основе создает различные модели смены состояний, указывающих качественные состояния, вероятные для экосистемы, правила перехода, которые определяют следующее состояние при любом заданном. Статистические и вероятностные модели считаются наиболее адекватными к сущности экосистем и отражают влияние случайных факторов на экологическую ситуацию.

Первый тип моделей создан на основе фундаментальных законах материального мира (законы сохранения энергии, массы, количества движения, переноса, трансформации и др.). Проводится исследовательский отбор значимых законов для определенного объекта, осуществляется их формализованная запись, решаются уравнения, и производится интерпретация полученных решений, осуществляется верификация моделей.

Эти модели несут в себе информацию, которая заключена в самой структуре математической модели (тип дифференциального, интегрального, балансового уравнения), а так же информацию, которая содержится в параметрах модели, определяющуюся из опытов. Нужно учитывать, что отсутствие опытных данных о коэффициентах в исследовании решений математических уравнений модели позволяет получить более качественные результаты. Отметим, что модели, полученные этим путем, могут усложняться за счет многомерности, многофакторности, разнообразия граничных и начальных условий, специфики среды и других факторов.

Затруднение в данном подходе заключается в несоответствии упрощенной модели ее реалистичному образу и в сложности представления реалистичного образа модели с множеством параметров. Также нельзя

предугадать влияния неожиданных факторов в реальной экологической ситуации, что значительно усложняет формирование правдоподобных гипотез.

Результатом преодоления таких сложностей является второй тип моделей, который базируется на закономерности функционирования экосистем путем обнаружения взаимосвязей в данных системах. Выбирается метод статистического анализа для разработки модели, проектирование процесса получения контрольных данных, компилирование экологических данных системы, построение алгоритма и компьютерный расчет статистических соответствий. Диверсификация закономерности формирования экологической ситуации требует повторного описанного процесса, но в другом качестве.

Статистическое определение математической модели – это подбор вида и определение параметров модели. При этом искомая функция может быть не только однофакторной, но и многофакторной. Выбор вида модели - задача неформальная, потому как одна и та же зависимость описывается с одинаковой погрешностью различными регрессионными уравнениями. Целесообразный выбор вида модели обоснован рядом критериев: компактность, интерпретируемость и т.д. Расчет параметров выбранной модели в основном формальная задача, легко решаемая компьютерными средствами.

Когда формируется статистическая гипотеза определенной экологической системы, нужна база данных, которая, однако, может быть чрезвычайно велика[4]. Для более реалистичного представления о системе необходимо отделить несущественную информацию, т.е. нужно сократить тип и количество данных. Факторный анализ является одним из методов сжатия экологической информации. Сокращение данных осуществляют методом наименьших квадратов, главных компонент с использованием, например, кластерного анализа. Следует отметить, что первичная экологическая информация имеет следующие особенности: многомерность данных, нелинейность, неоднозначность взаимосвязей в системе, погрешность измерений, влияние неучтенных факторов, пространственно-временная динамика. Математические модели, учитывающие эти факторы, позволяют более точно описывать экологические процессы.

Для решения экологических задач разумно использовать линейные и нелинейные математические модели, потому как основная часть

экологических закономерностей мало исследована. В результате учитывается многомерность моделируемых взаимосвязей и их нелинейность.

Очень важным в статистическом моделировании оказывается применение априорных данных, установленных в процессе решения различных закономерностей модели, и уменьшено их возможное количество.

Выявление параметров регрессионных моделей получают обычно методом наименьших квадратов, методом главных компонент и их производными.

Необходимость в долговременном прогнозировании поведения сложных экосистем с применением компьютерной техники породила создание нового типа модели – имитационной модели, включающей в себя первый тип и принципы построения моделей второго типа. Сутью имитационного моделирования является изучение сложной математической модели путем компьютерного проведения экспериментов и обработки результатов. Компьютерная имитация дает возможность воспроизводить причинно-следственные связи экологических процессов и явлений, позволяет изучать поведение сложных экосистем как теоретически, так и изучать различные стратегии регулирования экологической ситуации.

На сегодняшний день наиболее эффективным методом построения моделей экологических систем является метод, основанный на использовании теории нечеткого множества. Модели, основанные на теории нечеткого множества, дают возможность учитывать неопределенность и нечеткость исходной экологической информации объекта моделирования [3]. Модели на основе нечеткой логики, с учетом иерархичности объекта, позволяют существенно упростить экологическую модель, а также обеспечивают ее адекватность в условиях неопределенности. Построение моделей учитывает задачи, не поддающиеся формальному описанию из-за того, что часть параметров – это неточно или качественно заданные величины. Традиционные методы не годятся для решения таких задач потому, что они не могут описать возникающую неопределенность. Применение нечеткой логики позволяет строить базы знаний и экспертные системы нового поколения, которые позволяют хранить и обрабатывать неточную информацию об объекте экологии. Системы, основанные на нечеткой логике, можно применять для оценки степени воздействия негативных факторов при нечеткости информации об экологическом объекте. Нечеткие модели позволяют более адекватно и полно описать экологические процессы при

исходной нечеткой информации, а также снижают вероятность ошибочных решений при экологическом мониторинге и прогнозировании.

При разработке математических моделей для компьютерной системы экологического мониторинга необходимо также учесть территориально-распределенную принадлежность объекта моделирования[4]. С этой точки зрения объекты условно могут быть разделены на четыре уровня.

Объекты мирового уровня. Модели объектов этого уровня должны учитывать проблемы и особенности экологических процессов, имеющих отношение к нескольким странам. Например: воздушные бассейны, мировые океаны, трансграничные реки, космическое пространство, миграция животных и птиц и т.д.

Объекты государственного уровня. Модели этого уровня должны учитывать обширные территории, крупный экономический потенциал, базовые предприятия и ресурсы. Техногенные комплексы государства обеспечивают независимость и безопасность страны. Экологическая безопасность этих комплексов приравнивается к экологической безопасности страны и "устойчивое" развитие отрасли и государства возможно в рационально организованном природно-хозяйственном пространстве.

Объекты локального уровня. Модели этого уровня должны учитывать оценку природного богатства, с ориентацией на наукоемкие и высокотехнологичные отрасли, ресурсосберегающие технологии, комплексное извлечение ценных компонентов из природных ресурсов, утилизацию техногенного и вторичного сырья, снижение доли сырья и увеличение конечной конкурентоспособной продукции, а также другие средства снижения давления экологической ситуации на природную среду и население.

Объекты местного уровня. Модели должны характеризовать организацию территориально-производственных подразделений производства и выделяют местные проблемы с истощающее - загрязняющими воздействиями на экологию, внешние отрицательные воздействия на природу и производство[4].

Результаты и их обсуждение. Рационально выбранные математические модели с целью создания системы экологического мониторинга и прогнозирования совместно с использованием современных информационных технологий, позволяющих выполнять сбор, обработку и хранение информации о процессе функционирования экологического

объекта позволяют эффективно осуществлять процессы контроля и управления экологической ситуацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ризниченко, Г.Ю. Математическое моделирование биологических процессов. Модели в биофизике и экологии: учебное пособие для вузов/ Г.Ю. Ризниченко.— 2-е изд., перераб. и доп.— Москва: Издательство Юрайт, 2020.— 181с.
2. Серебряков А.О. Геологическое многомерное цифровое моделирование месторождений : монография / Серебряков А.О.. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 236 с.
3. Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. М.: Лаборатория знаний, 2001. 304 с.