

Об имитационной модели функционирования экосистемы Бердянских лиманов.

Корнева Т. С.

Бердянские соленые озера-лиманы, расположенные в прибрежной зоне Азовского моря, занимают важное место в курортно-рекреационной системе Бердянска как природный лечебный фактор. Содержащиеся в лиманах лечебные грязи-пеллоиды успешно используются в бердянских санаториях в борьбе с различными заболеваниями. Загрязнения лиманов снижают лечебный эффект, плановый забор пеллоидов влияет на их природный баланс, поэтому большое значение имеет задача обеспечения экологической безопасности и оценка влияния неблагоприятных воздействий на состояние водной экосистемы лиманов, на ее устойчивость и способность к восстановлению.

Исследование возможных вариантов развития лиманов как экотона можно провести на его имитационной модели с использованием вероятностного анализа гидрологических, гидрохимических и гидробиологических данных и показателей загрязнения, включающих сезонные наблюдения. Это значит, что информационная база при построении такой модели должна носить комплексный характер. Имитационная модель предусматривает воспроизведение с помощью компьютера развернутого во времени процесса функционирования экотона лимана с учетом взаимодействия с внешней средой. Основой построения такой модели является:

- разработка модели исследуемой системы на основе частных имитационных моделей подсистем, объединенных своими взаимодействиями в единое целое;
- выбор информативных характеристик объекта исследования, способов их получения и анализа;
- построение модели воздействия внешней среды на систему в виде имитации воздействия внешних факторов;
- выбор способа исследования имитационной модели в соответствии с имитационным экспериментом.

Условно имитационную модель можно представить в виде взаимодействующих блоков.

На рис. 1. показана структура такой модели. Блок имитации внешних воздействий (БИВВ) формирует реализации случайных или детерминированных процессов, имитирующих воздействия внешней среды на экотон лимана. Блок обработки результатов (БОР) предназначен для получения информативных характеристик исследуемого объекта. Необходимая для этого информация поступает из блока математической модели объекта (БМО). Блок управления (БУИМ) реализует способ исследования имитационной модели, основное его назначение – автоматизация процесса проведения имитационного эксперимента.

Такая имитационная модель экосистемы обеспечит проведение имитационного эксперимента над ней для изучения ее поведения с учетом заданных ограничений в условиях имитации и взаимодействия с внешней средой.

Экотон лимана – очень быстро меняющаяся экосистема. На протяжении года значительно изменяется объем и размеры лиманов, т. к. лиманы сообщаются с морем (имеют с морем гидрологическую связь посредством фильтрации морской воды или прямым ее поступлением во время шторма). В зависимости от сезона изменяется химический состав воды. Летом из-за значительного испарения повышается соленость воды, образуется рапа, которая тоже используется в санаторном лечении.

Эти особенности необходимо учитывать при моделировании экосистемы лимана, для чего используются следующие комплексы показателей:

- гидрологический комплекс характеризует физические свойства воды и содержит наблюдения за температурой, соленостью, цветом, прозрачностью и т.д.;
- перечень гидрохимических показателей отражает газовый и ионный состав воды, содержание биогенных компонентов, органического вещества, микроэлементов;
- список гидробиологических наблюдений включает биомассу, численность фито-, зоо-, бактериопланктона и бентоса;

К параметрам загрязнения отнесены тяжелые металлы (Pb, Mn), пестициды, специфические загрязнители.

Оценка качества воды учитывает прозрачность, содержание кислорода, нитратов, нитритов, фосфатов, рН, биомассу фитопланктона, количество бактерий.

Для диагностики состояния и оценки качества воды строятся и обрабатываются ряды отдельных компонентов экосистемы, используются также массивы данных, объединенных для отдельных сезонов и года в целом. С целью оценки трофического состояния вод данные сезонных наблюдений усредняются в пределах года, для чего используются следующие показатели: прозрачность воды, средние концентрации микроэлементов, средняя биомасса фитопланктона, бентоса.

Для каждого компонента экосистемы анализируются временные ряды в виде весенних, летних и осенних величин. Каждый временной ряд интерпретируется как случайный стационарный процесс, за основную характеристику которого принимается функция распределения вероятностей его значений $F(x)$. Оценки функций распределения, полученные по выборкам данных, дают представление о виде распределения в отдельные сезоны года.

Для многокритериальной оценки экологического состояния лимана используются сводные показатели, учитывающие как числовую так и не числовую информацию о состоянии экосистемы, при этом:

- строятся отдельные числовые показатели, характеризующие состояние экотона;
- рассчитываются оценки параметров, относительно которых имеющаяся информация неполная;
- строится сводный показатель на упорядоченном по предпочтению множестве при помощи покомпонентного доминирования.

Процесс функционирования экотона можно рассматривать как смену его состояний, описываемых фазовыми переменными

$Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_n(t)$ в n – мерном пространстве.

Задачей имитационного моделирования является получение траектории движения рассматриваемого экотона в n – мерном пространстве (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) , а также вычисление показателей, характеризующих его свойства.

В данном случае “движение” понимается в общем смысле – как любое изменение, происходящее в экотоне.

Используются два принципа построения модели процесса функционирования экотона:

1. Временной принцип dt .

Предположим, что начальное состояние системы соответствует значениям $Z_1(t_0), Z_2(t_0), \dots, Z_n(t_0)$. Принцип Δt предполагает преобразование модели экосистемы к такому виду, чтобы значения Z_1, Z_2, \dots, Z_n в момент времени $t_1 = t_0 + \Delta t$ можно было вычислить

через начальные значения, а в момент $t_2 = t_1 + \Delta t$ через значения на предшествующем шаге и так для каждого i -ого шага ($\Delta t = \text{const}$, $i=1+m$).

Т.к. случайность является определяющим фактором, то принцип Δt заключается в следующем:

- определение условного распределения вероятности на первом шаге ($t_1 = t_0 + \Delta t$) для случайного вектора, обозначим его (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) , причем начальное состояние системы соответствует точке траектории $Z_1^0, Z_2^0, \dots, Z_n^0$;
- вычисление значений координат точки траектории движения системы ($t_1 = t_0 + \Delta t$), как значения координат случайного вектора, заданного распределением, найденным на предыдущем шаге;
- нахождение условного распределения вектора $Z_1^2, Z_2^2, \dots, Z_n^2$ на втором шаге ($t_2 = t_1 + \Delta t$), при условии получения соответствующих значений $Z_i^1 (i=1, 2, \dots, n)$ на первом шаге и т.д., пока $t_i = t_0 + i \Delta t$ не примет значения ($t_m = t_0 + m \Delta t$).

Принцип Δt является универсальным, применим для широкого класса систем. Его недостатком является неэкономичность с точки зрения затрат машинного времени.

2. Принцип особых состояний.

При рассмотрении экотона лимана можно выделить два вида состояний:

- обычное, в котором система находится большую часть времени, при этом $Z_i(t)$, ($i=1, 2, \dots, n$) изменяются плавно;
- особое, характерное для системы в некоторые моменты времени, причем состояние системы изменяется в эти моменты скачком.

Принцип особых состояний отличается от временного принципа Δt тем, что шаг по времени в этом случае не постоянен, является величиной случайной и вычисляется в соответствии с информацией о предыдущем особом состоянии. При построении имитационной модели оба принципа при необходимости комбинируются.

Описанная выше имитационная модель делает возможным проведение имитационного эксперимента над экосистемой, для которой натурный эксперимент не осуществим, а также дает решение задачи моделирования, аналитические методы для которой неприменимы из-за случайных воздействий, нелинейных характеристик элементов системы и т.п. С помощью этой модели можно провести анализ вариантов поведения экотона лимана и принятия решений с учетом предполагаемых по результатам эксперимента характеристик.