

МЕТОДОЛОГІЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ ЕКОСИСТЕМАМИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 504:574

А.Д. Андреев

Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

КОНЦЕПЦИЯ РЕЗИСТЕНТНОСТИ ЭКОСИСТЕМ С ПОЗИЦИЙ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Особенностью современного состояния экологии как науки является доминирование в ней эмпирического знания, характер которого обусловлен имеющимися в распоряжении эколога инструментальными возможностями (алгоритмами) регистрации конкретных биологических, а вместе с тем и экологически значимых показателей. Как неизбежное следствие такой тенденции — отбор, обработка и интерпретация огромнейшего массива экологических данных, накопленного в результате многочисленных наблюдений носит “сиюминутный” и крайне неупорядоченный характер. При этом исследования обобщающего характера в экологии, к сожалению, оказались в стороне. Вместе с тем совершенно ясно, что без должного внимания к теоретическим подходам и концептуальным обобщениям, многие экологические исследования неизбежно падают до уровня рутинных наблюдений, сопоставимых с деятельностью сети Госгидромета.

Для решения указанных проблем привлекают методы количественного моделирования, которые апробируют для формализации разную степень детализации описываемых экологических процессов и, соответственно, математические модели разного уровня сложности. При этом, ввиду особенностей экологии как науки, вполне объяснимо стремление разработчиков моделей к максимальной скрупулезности описания в процессе моделирования. Однако такая установка экологов-заказчиков, не давая заметных результатов, как оказалось лишь порождает заранее непридвиденные проблемы методологического и математического характера. Так, для численной реализации сложных многоуровневых моделей необходимы точные данные об особенностях функционирования отдельных компонентов моделируемой экосистемы, которые, как известно, не всегда доступны, а иногда — методически невыполнимы в рамках современных методов регистрации экологических параметров. Кроме того, алгоритмы решения систем большого числа нелинейных уравнений, как показывает опыт практических расчетов, имеют неустранимую тенденцию к неустойчивости при их реализации на ПЭВМ. При этом большое количество параметров конкретной экологической модели приводит к дополнительной проблеме — некорректности самой математической процедуры верификации (как этапа моделирования) и выбора подходящего численного значения нерегистрируемых параметров. В самом деле, согласно нашему опыту моделирования, разные наборы параметров (особенно, в рамках достаточно неточных и отрывочных экологических данных) могут обеспечивать одинаковую (сравнимую) точность модельного описания реальных экологических процессов. В связи с этим отнюдь не парадоксальным выглядит утверждение, основанное на сравнительном анализе разных модельных исследований: уровень сложности (детальности) моделей не коррелирует с прогностической ценностью получаемых из них результатов.

В связи с этим в экологии более актуальны модельные подходы, в которых функционирование экосистем изначально рассматривают с обобщенных позиций. Признанным направлением таких

МЕТОДОЛОГІЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ ЕКОСИСТЕМАМИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

исследований выступают разрабатываемые в экологии концепции “емкости”: *экологическая* (Поликарпов, Егоров; Лаврик и др. ; Протасов), *ассимиляционная* (Израэль, Цыбань), *буферная* (Камшилов; Никаноров, Лапин), *радио* (Агре, Корогодина; Кутлахмедов) и другие. Основная идея указанных работ состоит в том, чтобы, путем введения интегрального показателя, в общем виде описать возможности конкретной экосистемы как целого “противостоять” определенному внешнему (обычно: антропогенному) воздействию. Вместе с тем приходится признать, что для приведенных понятий, имеющих простой и наглядный смысл при обычном в биологических исследованиях вербальном описании, пока не установлено строгой и однозначной дефиниции и, в частности четкого количественного выражения. Указанное, естественно, сдерживает практическое применение концепций “емкости” для решения задач природоохранной деятельности, а их значение в экологической науке ограничено теоретическими обсуждениями.

Принимая во внимание изложенное (при этом некоторые аспекты остались вне обсуждения) мы предложили для решения указанной задачи экологии воспользоваться строгим понятием “резистентности системы”, которое принято в математической теории динамических систем для описания особенностей реакции системы на внешнее воздействие. Так, под резистентностью конкретной системы X , испытывающей конкретное внешнее воздействие фактора f , по определению, следует понимать свойство системы X сохранять (не изменять) свое состояние x при изменении воздействия f . При этом величина резистентности r имеет и количественную форму, которая определяется так: $r = df/dx$.

Наш анализ показал эвристичность такого подхода для экологической проблематики. Так, установлено, что если в качестве внешнего воздействия на водную экосистему с размерной характеристикой V выбрано поступление определенного вещества (произвольной природы), а для обобщенной количественной характеристики состояния этой экосистемы (или ее участка) принято усредненное содержание (концентрацию) C этого вещества, тогда можно по аналогии ввести понятие резистентности экосистемы R , которое описывает реакцию экосистемы R на определенный поток F заданного вещества со следующим количественным выражением для R : $R = dF/dC$. Показано также, что в случае непрерывного поступления конкретного вещества (величина потока: F_C), состояние экосистемы стремится к “квазиустойчивому” состоянию C^* , которое определяется такой формулой: $C^* = F_C / R$. Причем указанное состояние экосистемы определяет совместное действие всех внутриэкосистемных абиотических и биологических процессов. В частности, если суммарную интенсивность этих процессов обозначить через A , то для величины R установлена следующая оценка: $R = \langle A \rangle \langle V \rangle$, где $\langle \rangle$ — математическая операция усреднения по времени. При этом интенсивность перехода экосистемы к состоянию C^* удобно описывать временем релаксации T , определяемой по формуле: $T = 1/A$.

Таким образом, понятие *резистентность экосистемы* строго определено, имеет количественное выражение и адекватно описывает реакцию экосистемы на поступление конкретного вещества. Для рассмотрения одновременного поступления в экосистему нескольких веществ резистентность выступает многоэлементной величиной $R = \{R_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$. Тем самым разработанный концептуальный подход позволяет строго решать традиционные задачи охраны окружающей среды. Сформулируем их кратко.

1. Для конкретной экосистемы: сравнение поступающих веществ по реакции этой экосистемы на них (т. е. ранжирование веществ по степени их “опасности” для экосистемы).
2. Для определенного вещества: сравнение конкретных экосистем по их реакции на данное вещество (т. е. ранжирование экосистем по их “устойчивости” к поступлению определенного вещества).
3. При выборе экосистемы и определенного потока вещества: оценка диапазона изменений концентрации данного вещества в конкретной экосистеме.
4. В условиях п. 3: оценка интенсивности поступления конкретного вещества в данную экосистему по известному диапазону изменений концентрации этого вещества в экосистеме (“обратная задача”).