

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГО–ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Аверин Е.Г., Парфенюк А.С.*

Донецкий национальный технический университет, Украина

*В данной статье рассматривается метод позволяющий предложить способ построения комплексного индекса характеризующего состояние ЭЭС. При построении такого индекса, будут использоваться не экспертные методы, а системные закономерности, связывающие между собой состояния ЭЭС условиями подобия при изменении индикаторов.*

Города являются центрами сосредоточения хозяйственной деятельности и общественной жизни людей на Земле. С одной стороны, городская среда обеспечивает удовлетворение жизненных потребностей человека. С другой стороны, в городах проявляется наиболее негативное изменение окружающей природной среды (ОПС), которое приводит к возникновению основных экологических проблем современности. Половина человечества, в настоящее время, живет в городах. По прогнозам ООН к 2020 году 60% населения мира будет проживать на урбанизированных территориях.

Первым городом с населением в миллион человек стал Рим в 44-10 гг. до н.э. С этого времени, плотность населения в городах из века в век возрастала и сейчас достигла очень высоких значений. В Мехико плотность населения составляет 21 тысячу человек на 1 кв. км, в Нью-Йорке – 13200, в Москве – около 12500, а в Донецке – 2700. Растущие города, поглощая природные экосистемы, перерождаются в гигантские мегаполисы и урбоарёалы. Они становятся источниками необратимых, не перерабатываемых природой загрязнений и недостаточно приспособлены для создания необходимых человеку природных условий проживания (чистые воздух и вода, озеленение, достаточная инсоляция, время солнечного облучения, отсутствие шума, небольшая плотность населения и т.д.)

Рост городской территории зависит от следующих основных факторов: месторасположения, прироста населения, миграции населения, развития инфраструктуры, национальной стратегии развития и от других политических, социальных и экономических факторов.

Крупной проблемой урбанизации является отсутствие стабилизации роста численности населения, постоянное расширение городских территорий. Все это приводит к исчезновению почвенно-растительного слоя Земли. Уже сейчас в ряде стран очень высок процент занятой городами территории: в Бельгии – 28%, в Англии – 12%, в Дании – 11%. Такие большие урбанизированные территории недопустимы с точки

зрения поддержания экологического равновесия между антропогенной и природной средами.

Урбанизированная территория является динамичным комплексом, которая включает природную, природно-антропогенную и антропогенную компоненты. В последнее время, важной задачей становится обеспечение экологического равновесия и сокращение негативных антропогенных воздействий на ОПС. Решение данной задачи невозможно без применения методов экологической оценки, анализа и прогнозирования изменения экологической ситуации.

Проблема комплексной экологической оценки состояния природно-промышленных комплексов достаточно сложна, так как основывается на анализе большого количества картографической информации и баз данных эколого-экономических показателей. Экологическая оценка среды жизни на урбанизированной территории включает в себя анализ состояния следующих сред и факторов: воздушного бассейна (выявления источников загрязнения и оценка опасности загрязнения среды), водного бассейна, почв (оценка санитарно-гигиенического состояния), растительного мира (оценка степени и качества озелененных территорий), животного мира (оценка видового состава), шумового режима территории (выявление источников шума и оценка уровней шума), а также вибрационного, электромагнитного и температурного воздействий на окружающую среду и т.д. Оценка указанных факторов окружающей среды необходима для принятия управленческих решений по предотвращению недопустимых уровней воздействий.

Основным направлением в настоящее время в оценке экологического состояния урбанизированных экосистем является применение методов, основанных на использовании индикаторов и индексов. Индикаторы – это численные, измеряемые значения ряда параметров экологического состояния экосистемы. Эти величины считаются обобщенными показателями, характеризующими состояние и динамику развития экосистем. Одним из важных индикаторов качества городской среды является доля площади озелененных территорий в общей площади города. Сравнительно новый экологический индикатор – это длина зеленых коридоров и площадь соединяемых ими зеленых территорий города. Существует большое количество других индикаторов оценки состояния экосистемы: индикатор эффективности использования ресурсов, индикатор доступности объектов города, индикатор состояния воздушной среды и т.д.

Индекс – это комплексный показатель, который строится на основе индикаторов, характеризующий состояние и динамику развития экосистемы.

В основе способа описания состояния экосистем с использованием экологических индикаторов и индексов лежат экспертные методы. Следует отметить, что общей теории, основанной на системных методах, для

комплексной экологической оценки состояния городских территорий на данный момент не существует.

Предположим, что для комплексной экологической оценки состояния урбоэкосистемы, применяется  $n$  индикаторов. В общем случае, перевод параметров в безразмерные величины, осуществляется по формуле (1).

$$I_i = \frac{X_i - X_{i,\min}}{X_{i,\max} - X_{i,\min}} \quad (1)$$

Обычно комплексный индекс экосистемы при экологической оценке строится на основе индикаторов в виде аддитивной суммы:

$$I = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot I_i, \quad (2)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент, определяющий вес индикаторов.

При экспертных оценках  $\alpha_i$  задается в виде фиксированных значений, что неверно, так как очевидно, что эти величины зависят от состояния экосистемы, которая определяется индикаторами  $I_i$ .

В общем случае, исходя из термодинамических методов, данная задача сводится к построению некоторого уравнения состояния для сложной эколого-экономической, или социальной системы. Другими словами, предполагается существование однозначной зависимости, связывающей между собой значение индекса экосистемы и значений индикаторов:

$$I = f(I_1, I_2, \dots, I_n) \quad (3)$$

Из функции (3), следует, что каждому состоянию эколого-экономической системы (ЭЭС), которое характеризуется определенным набором значений индикаторов  $I_i$ , устанавливается свое значение индекса  $I$ . Геометрически, это означает, что можно построить в  $(n+1)$ -мерном пространстве, многомерную поверхность, где каждое состояние определяется фигуративной точкой, лежащей на этой поверхности. Поэтому любые процессы перехода ЭЭС из состояния 1 в состояние 2, будут характеризоваться линиями, соединяющие точки 1 и 2, и лежащие также на этой поверхности. Таким образом, согласно (3) каждому состоянию системы мы приводим в соответствие некоторое значение «температуры», определяя тем самым, существование некоторого уравнения состояния системы вида (3).

Известно, что если параметры системы меняются очень медленно, функция (3) может быть представлена однородной функцией вида (4):

$$I = I_1 \frac{\partial I}{\partial I_1} + I_2 \frac{\partial I}{\partial I_2} + \dots + I_n \frac{\partial I}{\partial I_n} \quad (4)$$

Для того чтобы построить линейную шкалу для изменения индекса  $I$ , необходимо задать две характерные точки в пространстве состояний ЭЭС. Будем считать, что виртуальное состояние с параметрами ( $I_i = 0, X_i = X_{\min}$ )

может наблюдаться на нижней границе данного пространства состояния системы. Виртуальное состояние с параметрами ( $I_i = 1, X_i = X_{max}$ ) может наблюдаться на верхней границе данного пространства состояний системы.

Присвоим значению индекса  $I$  на нижней границе ноль пунктов, а значению индекса на верхней границе сто пунктов. Такой подход даст возможность, построить линейную шкалу индекса  $I$ , по аналогии как это делается при установлении шкал температур в термодинамике.

Таким образом, задачу построения комплексного индекса ЭЭС, мы свели к решению квазилинейного дифференциального уравнения в частных производных первого порядка с  $n$  независимыми переменными вида:

$$F(I_1, I_2, \dots, I_n, I, P_1, P_2, \dots, P_n) = 0, \quad (5)$$

Решение уравнения (5) ищется при условии, что при  $I_i = 1$ :

$$\frac{\partial I}{\partial I_1} + \frac{\partial I}{\partial I_2} + \dots + \frac{\partial I}{\partial I_n} = 100 \quad (6)$$

Практическое применение данного метода заключается в реализации следующего алгоритма оценки развития ЭЭС. Задаются несколько индикаторов характеризующих состояния ЭЭС в каждый момент времени, и которые подвержены изменениям. Значения данных индикаторов должны иметь возможность эмпирического определения на основе квартальных, полугодовых, или годовых статистических данных. Строится линейное уравнение вида (5) относительно величин  $P_i$ . На основе решения этого уравнения восстанавливается вид интегральной поверхности вида (3), которое представляет собой поверхность в пространстве  $(n+1)$  измерений.

В настоящее время существуют методы решения уравнения (5). Соответствующая интегральная поверхность, которая представляет собой решение уравнения (5) строится в  $n$ -мерном пространстве таким образом, что в каждой фиксированной точке этого пространства имеется вектор, направляющие косинусы которого пропорциональны  $I_1, I_2, \dots, I_n, I$ . Интегральные кривые соответствующие этому полю направления вектора, определяются системой обыкновенных дифференциальных уравнений и являются характеристиками уравнения (5).

Использование данного метода позволяет предложить способ построения комплексного индекса характеризующего состояние ЭЭС. При построении такого индекса, будут использоваться не экспертные методы, а системные закономерности, связывающие между собой состояния ЭЭС условиями подобия при изменении индикаторов.