

УДК 681.1.06:614:7

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ
РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

В.А. РЫБАК

*Белорусский научно-исследовательский центр "Экология"
ул. В.Хоружей, 31А, 220002, Минск, Беларусь**Поступила в редакцию 18 августа 2005*

Дается краткий обзор полученных научных результатов по разработке принципов и моделей поддержки принятия решений в области рационального природопользования и охраны окружающей среды. Представлены формулы расчета полей концентраций, весовых коэффициентов, финансовой рентабельности, определены условия достижения оптимального решения. Обозначены пути дальнейшего развития изложенных принципов с использованием получаемых результатов широким кругом специалистов.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, критериальная оценка, рациональное природопользование, охрана окружающей среды.

Под поддержкой принятия решений (ППР) будем понимать использование методов и средств (в том числе программных) автоматизации принятия оптимального решения по рассматриваемому вопросу на основании субъективных интересов и критериальных оценок.

В общем случае принятие решений осложняется тем, что часто предметные проблемы, по которым принимаются решения, слабо структурированы. Кроме того, присутствие неопределенности, связанной с тем, что эксперты не могут точно предвидеть и оценивать результаты принимаемых решений, также осложняет процесс ППР. В области рационального природопользования и охраны окружающей среды (ОС) задачи часто не имеют объективной меры успеха результата, они, как правило, требуют многоуровневого процесса принятия решений и не всегда имеют известные альтернативы решения.

Компьютерная система ППР в общем случае помогает автоматизировать: сбор данных и анализ обстановки, оценку приоритетов, представление средств формализации предложений, моделирование последствий принимаемых решений, оценку вариантов и выбор оптимальных [1].

Компьютерная система поддержки анализа обстановки заключается в использовании методов выявления скрытых закономерностей, определяющих возможное развитие ситуации, характер возникающих неблагоприятных воздействий. В случае охраны ОС нами предлагается использование регрессионного анализа с анализом маркеров экологического неблагополучия на основании выявления взаимозависимостей в системе "окружающая среда – здоровье населения". Для проведения подобного анализа используется база данных о природно-ресурсном потенциале административных районов страны, динамика загрязнения природных сред и статистическая информация о заболеваемости населения по основным нозологическим формам.

Для восстановления картины загрязнения ОС служит база данных, пространственно привязанная к данным, полученным в результате измерений. При недостаточности данных мы используем моделирование процесса распространения загрязненности. Так, например, при оценке загрязнения атмосферного воздуха и переносов выбросов используется модель Гаусса с учетом реальных климатических условий соответствующих территорий.

При расчете распространения загрязнения в результате техногенных аварий (радиационного, химического, биологического) для восстановления картины загрязнения строится поле данных, позволяющее по координатам точки рассчитать предполагаемое значение исследуемого параметра и точность этой оценки. Все поля данных строятся и хранятся структурированно в виде суммы конечных элементов, каждый из которых является минимальной параболой с областью определения на ячейке, равномерной по каждой координате:

$$V(x, y) = a + bx + cy + dx, \quad (1)$$

где $(x, y) \in [0, 1] * [0, 1]$ — относительные координаты точки внутри соответствующей ячейки; $V(x, y)$ — значения поля в точке (x, y) ; a, b, c — коэффициенты, зависящие от значения поля в узлах сетки.

Для оперативного построения полей предлагается использовать метод весовых коэффициентов. Результаты измерений интерполируются системой в узлы равномерной сетки по формуле (2)

$$V_j = \frac{\sum_i Z_i W_i}{\sum_i W_i}, \quad W_i = \exp\left(-\frac{9}{2} \frac{R_i^2}{(kd)^2}\right), \quad (2)$$

где V_j — значение поля в j -м узле сетки; Z_i — значение измерений в i -й точке; W_i — "вес" значения в i -й точке; R_i — расстояние от i -й точки до j -го узла; d — шаг сетки; k — безразмерный параметр, задаваемый экспертом. Усреднение проводится по значениям измерений, лежащим внутри ближайших к узлу прямоугольных ячеек сетки до глубины k . По вычисленным значениям V_j система ППР строит карту распределения загрязнений, которая используется на последующих этапах.

При принятии решений в области рационального природопользования и охраны ОС часто возникают противоречия, связанные с окупаемостью затрат и отложенностью во времени ожидаемого результата. Процесс принятия решения таким образом можно представить как нахождение оптимума функций минимизации затрат в настоящем времени $\omega(z)$ и максимизации получаемого эффекта в будущем $\varphi(z)$, z — векторы аргументов этих двух функций. Область определений аргументов может быть общей для обеих функций или своя для каждой, но они обязательно должны пересекаться. Так как нас интересует только область пересечения (нахождение оптимального решения), то она и обозначена вектором z . Точки экстремумов функций обозначим $\omega(z_0^x)$ и $\varphi(z_0^y)$. В общем случае точки z_0^x и z_0^y не совпадают. При принятии решений, как правило, не используют точку экстремума одной из функций как окончательный вариант, поэтому функции, описывающие выбор оптимального решения, можно рассматривать как композицию двух функций. С точки зрения минимизации затрат в настоящем времени эта композиция функций $\omega(z)$ и $\alpha(z)$ с точки зрения максимизации ожидаемого результата в будущем — $\varphi(z)$ и $\beta(z)$, где $\alpha(z)$ и $\beta(z)$ — функции, характеризующие критерии оценки получаемого результата соответственно. Эти композиции запишем в виде функций $f^x(\omega(z), \alpha(z))$ и $f^y(\varphi(z), \beta(z))$.

Если обозначить точку достижения оптимального решения как z_c , то с точки зрения двух основных позиций имеем (3):

$$\begin{aligned} |\omega(z_0^x) - f^x(\omega(z_c^x), \alpha(z_c^x))| &\rightarrow \min; \\ |\varphi(z_0^y) - f^y(\varphi(z_c^y), \beta(z_c^y))| &\rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3)$$

При приоритетности позиции минимизации затрат в настоящем времени $f^x(\omega(z_c^x), \alpha(z_c^x)) = \omega(z_0^x)$. При нахождении компромисса: $A | \omega(z_0^x) - f^x(\omega(z_c^x), \alpha(z_c^x)) | =$

$= B | \varphi(z_0^y) - f^y(\varphi(z_c^y), \beta(z_c^y)) |$, где A и B — векторы, на которых достигается компромисс, так как в общем случае: $|\omega(z_0^x) - f^x(\omega(z_c^x), \alpha(z_c^x))| \neq |\omega(z_0^y) - f^y(\varphi(z_c^y), \beta(z_c^y))|$.

При достаточном объеме требуемых ресурсов в настоящем времени: $f^x(\omega(z_c^x), \alpha(z_c^x)) = \varphi(z_0^y)$.

Представляет научный интерес определение критериев, по которым будут оцениваться получаемые решения, их весов и базовых шкал. Для ранжирования критериев мы используем их парное сравнение с одним из трех результатов: "важнее", "менее важен" и "эквивалентен". Для k -го эксперта таблицу оценки критериев можно записать в виде матрицы $R^k = (r_{ij}^k)$, где

$$r_{ij}^k = \begin{cases} 3, & \text{если } a_i > a_j; \\ 2, & \text{если } a_i \approx a_j; \\ 1, & \text{если } a_i < a_j. \end{cases}$$

В этом случае легко подсчитать балл каждого критерия. Это может быть, например, сумма r_{ij}^k . Важно, чтобы метод отражал "веса" приоритетов, указанные экспертом при парных сравнениях критериев. Использование статистического параметра χ^2 -квадрат позволяет сравнить значимость различий между оценками экспертов. На основании матриц каждого эксперта R^k формируется матрица коллективного предпочтения R^* [2–11]. В случае нарушения транзитивности предпочтений может возникнуть ситуация, когда матрица R^* не является ранжированием, т.е. не позволяет определить предпочтения. Тогда система ППР строит такое ранжирование \bar{R} , которое является ближайшим к групповому мнению в некоторой метрике. Обозначив $d(\bar{R}, R^*)$ расстояние между \bar{R} и R^* , получим требование $d(\bar{R}, R^*) \rightarrow \min$. Групповой выбор R^* определяется условием (4):

$$\sum_{k=1}^K d(R^*, R^k) = \min_{R \in R(n)} \sum_{k=1}^K d(R, R^k), \quad (4)$$

где $R(n)$ — множество всевозможных матриц парных сравнений n объектов указанного выше вида. При использовании шкалы большей балльности эксперт может обозначить отношения между критериями лингвистическими переменными. Например, при пятибалльной шкале мы предлагаем следующие степени: "существенно важнее", "важнее", "одинаково важно", "менее важно", "значительно менее важно".

При выборе алгоритма оценки часто используют критерии экономической эффективности. Для оценки финансовой рентабельности применяем метод, получивший название "чистая текущая стоимость" [3–14]:

$$V = \sum_{t=1}^T \frac{B^t - Z^t}{(1 + E)^t}, \quad (5)$$

где B^t — доход за год t ; Z^t — затраты за год t ; E — ставка (норма дисконта).

Если считать, что затраты определяются только капитальными вложениями на эксплуатацию, то в зависимости от ситуации величина доходов может меняться.

Научной проблемой является разработка алгоритмов прогнозирования результатов возможных решений. Под прогнозированием понимаем оценку состояния объекта или процесса через определенный период времени. Существует множество публикаций и большое количество программных средств, реализующих алгоритмы прогнозирования. Однако получая прогноз необходимо учитывать сложность оценки его достоверности.

Мы использовали фактографические методы на основе анализа статистических данных, характеризующих объект или процесс прогнозирования за прошедший период, которые устанавливают закономерности изменения и тенденции их развития. Параметры модели тренда,

минимизирующее отклонение от точек исходного временного ряда, мы отыскиваем методом наименьших квадратов [4–19]:

$$f_{n+1} = \sum_{i=1}^n (y_i^* - y_i)^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

где y_i^* — расчетное значение исходного ряда; y_i — фактическое значение исходного ряда; n — число наблюдений; j_{n+1} — прогноз на момент $n+1$.

Классический метод наименьших квадратов предлагает равноценность исходной информации в модели. В задачах рационального природопользования и охраны ОС более поздние наблюдения, особенно если они получены после оказания на ОС каких-либо воздействий, являются более ценными, чем сделанные ранее. Поэтому мы уменьшаем ценность более ранних наблюдений введением в предыдущее состояние весового коэффициента $\alpha_i < 1$. Тогда

$$f_{n+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i (y_i^* - y_i)^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

Также для построения прогнозов и оценки их достоверности мы используем регрессионный анализ.

В заключение необходимо отметить актуальность создания автоматизированных систем ППР с использованием новейших информационных технологий и методов математической статистики для управления сферой рационального природопользования и охраны окружающей среды. Белорусским научно-исследовательским центром "Экология" в сотрудничестве с другими заинтересованными организациями проводятся исследования и разработка систем поддержки принятия решений, что позволит, в конечном счете, повысить эффективность механизмов природопользования и увеличить природно-ресурсный потенциал нашей страны.

DECISION SUPPORT IN ENVIRONMENTAL PROTECTION

V.A. RYBAK

Abstract

Scientific results obtained by the author in the area of decision support in environmental protection are under review. The formulas for calculation of concentration fields, balance coefficient, profits are presented; conditions of achievement of optimal decision are specified. The possible ways of development of presented principles are emphasized.

Литература

1. Трахтенгерц Э.А. // Информационные технологии. 2002. № 3. С. 3–6.
2. Баркалов С.А., Новиков Д.А., Песковатсков В.Ю., Серебряков В.И. Двухканальная мобильная активная экспертиза. М., 2000.
3. Андреев А.Ф. Оценка эффективности и планирование проектных решений в нефтегазовой промышленности. М., 1997.
4. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков Е.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. М., 1989.