

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕО- И АГРОЭКОСИСТЕМАМИ
В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ

А.А. Волчек, П.В. Шведовский¹

Отдел проблем Полесья НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

¹Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

The problems of management of geo- and agroecosystems are considered in view of their dispute environment of existence, development and functioning. The basic circle problem and forecast tasks and approaches to their realization are revealed.

В соответствии с общепринятой концепцией понятийно-логическая модель любой природной и техноприродной (антропогенной и антропогенезированной) системы (объекта) можно описать в знаковой форме в виде – $S \in (Z, \Sigma, F, E, \Lambda)$, где S – упорядоченный набор множеств состояний и изменений; Z – множество целей преобразований; Σ – структура системы; F – функционирование в физическом времени; E – эволюция в геологическом времени; Λ – эмерджентность системы (объекта).

Система как объект управления может быть формально описана в виде –

$$\langle \Omega, X, U, T, Y, \rho, \gamma, \zeta \rangle, \quad (1)$$

где Ω – пространство состояний (структур, реакций, исходов и т. д.); X – множество признаков и характеристик, описывающих состояние из Ω объекта управления и принимающих свои значения, каждой в своем множестве $\{V_j\}$; U – пространство управлений (мероприятий, решений, проектов и т. д.); T – время (дискретное или непрерывное); Y – пространство наблюдаемых проявлений, оценок и других выходных значений; ρ – отображение, описывающее динамику изменения состояния объекта и его реакцию в конкретном состоянии на управляющее воздействие и $\rho : (\Omega \cdot T) \cdot U \cdot T \rightarrow \Omega$; γ – отображение, описывающее процесс наблюдения объекта управления (получение оценок, характеристик и т. д.) и $\gamma : \Omega \cdot T \rightarrow Y$; ζ – неуправляемые факторы, условия и т. д., оказывающие влияние на динамику объекта управления.

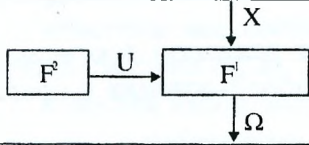
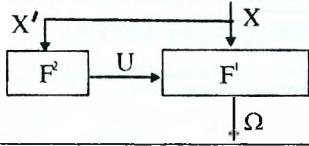
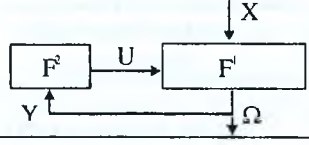
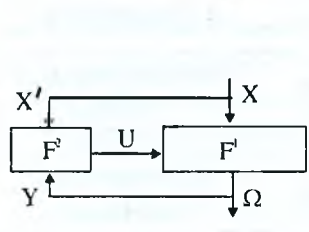
В соответствии с разработанной нами [7] базисной моделью формирования систем (объектов) матрица переходов имеет вид –

$$\left. \begin{array}{l} [A_1, A_m, \underset{X(T)}{\exists} A_2, \quad m > k > 1; \\ [A_1, A_2, \dots, A_{m-1} \underset{X(T)}{\exists} A_m; \\ [A_2, A_3, \dots, A_m \underset{X(T)}{\exists} A_1; \\ [A_1, A_2, \dots, A_m \exists a_1, a_2, \dots, a_m; \\ [\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_m \exists \bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_m; \\ [a_2, \dots, a_m \exists A_1, A_2, \dots, A_m; \\ [\quad \quad \quad \bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_m; \\ [A_1, \dots, A_m \exists \bar{A}_1, \dots, \bar{A}_m; \\ [a_1, \dots, a_m \exists \bar{a}_1, \dots, \bar{a}_m, \end{array} \right\} \quad (2)$$

где A_i – состояние системы; a_i – элементы системы; \bar{A}_i – переходы систем из состояния в состояние; \bar{a}_i – структура элементов систем.

Матрица (2) определяет следующие возможные структуры подсистем, описывающих процессы функционирования объекта (системы) (F^1) и выбора решений и управления (F^2), которые обуславливают применимость «черных», «серых» и «белых» ящиков (таблица 1).

Таблица 1. Структуры подсистем

Структура	№ п/п	Тип	Внешняя структура и обратная связь
	1	Без информации	
	2	Частичная информация	$X' \subset X$
	3	Полная информация	$X' = X$
	4	Частичная выходная информация	$Y \subset \Omega$
	5	Полная выходная информация	$Y = \Omega$
	6	Частичная входная и выходная информация	$Y \subset \Omega$ $X' \subset X$
	7	Полная входная и частичная выходная информация	$X' = X$ $Y \subset \Omega$
	8	Частичная входная и полная выходная информация	$X' \subset X$ $Y = \Omega$
	9	Полная входная и выходная информация	$X' = X$ $Y = \Omega$

Такая структура подсистем и определяет круг аналитических задач, базирующихся на предложенной понятийно-логической модели природных объектов и объектов любой степени антропогенезации:

1) оценка текущего состояния объекта ($\omega \in \Omega$), т. е. в условиях воздействия помех ζ необходимо найти такое отображение $\gamma: \Omega \cdot T \rightarrow \Omega'$, $\Omega \cong \Omega'$ при котором оценочное состояние объекта $\omega' \in \Omega'$ по критериям $\{k\}$ максимально совпадает с истинным состоянием;

2) разделение множества состояний Ω на классы состояний (кластеризация), т. е. необходимо определить множество классов и найти отображение $\varphi: \Omega \rightarrow \{k\}$ разделяющее все множество состояний объекта Ω на классы $\{k\}$;

3) отнесение произвольного состояния $\omega \in \Omega$ в один из классов состояния (классификация), т. е. необходимо определить отображение $\alpha: \Omega \rightarrow \{k\}$ позволяющее отнести состояние $\omega \in \Omega$ в заданный класс $\{k_\Omega\}$;

4) идентификация математической модели объекта управления, т. е. определение модели $\rho': (\Omega \cdot T) \cdot U \cdot T \rightarrow \Omega$ (дискретной или непрерывной), которая обеспечивает максимальное совпадение по основным критериям выходных состояний модели и состояний истинного процесса на фиксированном наборе входных воздействий;

5) формирование оптимального управления с точки зрения совокупности критериев $\{k\}$ и системы предпочтений $P: K \cdot K \rightarrow L$, где L – решетка предпочтений, т. е. определение такого управления $u \in U$, которое обеспечивает переход объекта в новое состояние с максимальной оценкой предпочтения;

б) ранжирование альтернатив и выбора решений с точки зрения множества критериев на котором определена система предпочтений $P:K \cdot K \rightarrow L$, т. е. отыскание отображения $\psi:U \rightarrow L$, позволяющее ранжировать элементы из U (альтернативы) по предпочтению P и осуществить выбор приемлемого решения из множества U ;

7) прогнозирование состояния $\omega \in \Omega$, т.е. нахождение такого отображения $\beta:(\Omega \cdot T) \cdot U \cdot T_{пр} \rightarrow \Omega$ которое позволяет определить прогнозное (последовательное) состояние объекта, оптимально совпадающее с истинным состоянием объекта через расчетное время прогноза, либо набор элементов системы и ее структуру с точки зрения критериев оптимизации $\{k\}$.

В настоящее время существует множество подходов к решению прогнозных и аналитических задач управления объектами в области природопользования и природообустройства (рисунок).



Рисунок. Возможные группы (подходы) решения задач управления объектами и прогнозирования в области природопользования и природообустройства

Совокупность прогнозных задач может быть описана следующим образом:

- известны начальные (A_1) и конечные (A_m) состояние системы. Необходимо определить состояние A_k , где $m > k > 1$;
- известно множество последовательных состояний (A_1, A_2, \dots, A_{m-1}). Необходимо определить конечное состояние A_k ;
- известны промежуточные и конечное состояние системы (A_2, A_3, \dots, A_m) или только конечное состояние A_m . Необходимо определить начальное A_1 или некоторые промежуточные состояния A_2, A_3 ;
- известны все состояния системы (A_1, A_2, \dots, A_m). Необходимо отыскать набор элементов системы a_1, a_2, \dots, a_m и ее структуру $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow \dots \rightarrow a_m$;
- известен набор элементов системы (a_1, a_2, \dots, a_m). Необходимо описать поведение системы с переходами последовательных состояний $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow \dots \rightarrow A_m$;
- известен последовательный переход системы по состояниям ($A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow \dots \rightarrow A_m$). Необходимо отыскать структуру перехода состояний и основных элементов ($a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow \dots \rightarrow a_m$).

Каждый из подходов обладает своими особенностями, но все они позволяют в той или иной мере учесть конфликтность среды существования, развития и функционирования любого природного (техноприродного) объекта, а также многокритериальность, неопределенность, случайность действий и противодействий и многозначность их описания [2, 5].

Конфликтная природа объектов требует формализации неопределенной (неоднозначной, недостоверной, неизвестной) информации методами математических теорий. Наиболее эффективными являются теории вероятности, ошибок, интервальных средних, субъективных вероятностей, многозначной логики нечетких множеств и нечетких мер и интегралов [1, 3, 6].

Применимость всех этих теорий для решения конкретных задач зависит от особенностей учета ими факторов неопределенности (таблица 2).

Таблица 2. Применимость математических теорий для решения задач и проблем в области природопользования

Учитываемая характеристика неопределенности	Возможности теорий по учету факторов неопределенности						
	Вероятности	Ошибок (интервальных делений)	Интервальных средних	Субъективных вероятностей	Многозначной логики	Нечетких множеств	Нечетких мер и интервалов
<i>1</i>	2	3	4	5	6	7	8
Физическая числовая неопределенность	+	+	+	+	-	+	+
Физическая нечисловая неопределенность	+	-	+	+	+	+	+
Противоречия между точностью и неопределенностью	-	-	+	+	+	+	+
Возможность количественной оценки неопределенности	+	-	-	+	-	+	+
Эффективность формализации полного незнания	-	+	+	+	+	+	+
Требования жесткого определения всех событий, факторов и хар-к	-	+	+	-	+	+	+

1	2	3	4	5	6	7	8
Возможность эффективного учета взаимовлияния неопределенности	-	-	-	-	+	-	+
Возможность получения оптимистических и пессимистических оценок и уровня доверия к ним	+	-	+	+	-	+	+
Единство подхода к представлению точных, неполных, неопределенных и нечетких знаний	-	-	-	-	-	-	+
Возможность работы с неопределенной информацией на базе малых статистических выборок	-	+	+	-	+	+	+

Примечание: (+) – возможен, (-) – не возможен учет факторов неопределенности.

Анализ таблицы 2 позволяет отметить, что одной из наиболее эффективных математических теорий при решении рассматриваемых проблем с характерной для них множественностью неопределенностей является теория нечетких интегралов, множеств и мер, базирующихся на нечетких процессах.

Основу решения проблем методами теории нечетких интегралов, множеств и мер составляет формализация нечетких множеств.

Рассмотрим формализацию нечетких данных для оценки уровня риска $d \in D$ формирования критической экологической устойчивости агроландшафтных систем в условиях Белорусского Полесья (таблица 3).

Таблица 3. Формализация нечетких данных для оценки уровня риска

№ п/п	Описание данных	Формализованное представление данных
1	Полная уверенность, что риска нет	$\mu(d) = \begin{cases} 0, & d \in D \setminus \{6\} \\ 1, & d = 6 \end{cases}$
2	Полная уверенность, что риск есть, но тяжело оценить его значение	$\mu(d) = \begin{cases} 1, & \mu(\cdot) = M_m(\cdot), d \neq 6 \\ \lambda \in [0,1] \mu(\cdot) = M_n(\cdot), M_d(\cdot), d \neq 6 \\ 0, & \mu(\cdot) = M_H(\cdot), d = 6 \end{cases}$
3	Полная уверенность, что риск есть однако известно, что его значение от минимального до допустимого	$\mu(d) = \begin{cases} 1, & d \in [2,3] \\ 0, & d \notin [2,3] \\ 0, & d = 6 \end{cases}$
4	Полная уверенность, что риск есть, но значение его четко неизвестно	$\mu(d) = \begin{cases} \varphi(d), & d \in D \setminus \{6\} \\ 0, & d = 6 \end{cases}$ $\varphi(d)$ – распределение нечеткости для риска низкого уровня
5	Полная уверенность, что риск допустим	$\mu(d) = \begin{cases} 0, & d \in D \setminus \{3\} \\ 1, & d = 3 \end{cases}$
6	Вполне правдоподобно, что есть риск достаточно высокого уровня, но имеется и не нулевая возможность λ , что риска нет	$\mu(d) = \begin{cases} M_n, & d \in D \setminus \{6\} \\ \lambda, & d = 6 \end{cases}$ M_n – распределение меры правдоподобия для риска высокого уровня
7	Неизвестно есть риск или нет, но если есть, то его величина вообще неизвестна	$\mu(d) = \begin{cases} 1, & \mu(\cdot) = M_{ss}(\cdot) \\ \lambda \in [0,1] \mu(\cdot) = M_n(\cdot), M_D(\cdot) \\ 0, & \mu(\cdot) = M_H(\cdot) \end{cases}$

№ п/п	Описание данных	Формализованное представление данных
8	Вполне возможно, что риска нет, но имеется и не нулевая возможность, что он есть и не выше критического	$\mu(d) = \begin{cases} \lambda, & d < 3 \\ 0, & d \geq 3 \\ 1, & d = 6 \end{cases}$

Примечание: 1 – событие возможно; 2 – событие невозможно; M_n – мера правдоподобия; $M_{вз}$ – мера возможности; M_H – мера необходимости; M_D – мера доверия; $M_{вп}$ – мера вероятности. Оценка риска: $D=(1 - \text{риск отсутствует, 2 - минимальный, 3 - допустимый, 4 - критический, 5 - недопустимый, 6 - неизвестно, является ли это риском})$; μ – функция принадлежности; λ – параметр нормировки.

При формализации использованы q – нечеткие меры, следующим образом зависящие от параметра нормировки:

$$\left. \begin{aligned} M_n \in -1 < \lambda < 0; & M_{вз} \in \lambda = -1; & M_H \in \lambda > 0; \\ M_D \in \lambda > 0; & M_{вп} \in \lambda = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Отметим также, что любые четкие данные представимы примитивным классом мер, т. е. мерами Дирака

$$\mu_{A \subseteq X}(d) = \begin{cases} 1, & x_0 \in A; \\ 0, & x_0 \notin A, \quad \infty > \lambda > -\infty, \end{cases} \quad (4)$$

где x_0 – заданный элемент в пространстве (носителе меры) X .

Бесспорно, предложенная формализация нечетких данных не ограничивает всего спектра возможностей формализации. При необходимости, в каждой конкретной решаемой задаче, могут использоваться и другие варианты формализации, позволяющие более широко описать спектр разнородных и малодостоверных данных.

Однако, на сегодня теория нечетких множеств, мер и интегралов в области решения проблем оптимального природопользования практически не используется, а отдается предпочтение менее сложным теориям – случайных (марковских) процессов, вероятности и ошибок с элементами многозначной логики с базированием на стохастических дифференциальных уравнениях. Такая ситуация и обуславливает относительно низкую эффективность инженерных решений по управлению гео- и агроэкосистемами.

Литература

1. Бочарников В.П. Модель управляемого непрерывного нечеткого процесса на основе нечетко-интегрального уравнения // Проблемы управления и информатики. Киев: КМУГА, 1998, с.72–77.
2. Бочарников В.П. Fuzzy-технология: Математические основы. Практика моделирования в экономике. С.–Петербург: Наука, РАН, 2001. – 328 с.
3. Зайченко Ю.П. Исследование операций: Нечеткая оптимизация. Киев: Выща шк., 1991. – 191 с.
4. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 312 с.
5. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
6. Прикладные нечеткие системы. Пер. с япон. // под ред. Т. Терно. – М.: Мир, 1993. – 386 с.
7. Шведовский П.В., Валуев В.Е. и др. Эколого-социальные аспекты освоения водно-земельных ресурсов и технологий управления режимами гидромелиораций. – Мн.: Ураджай, 1998. – 363 с.