$$\tau^1 = \rho_1 = 2{,}4;\ \ \varphi_1 = 1{,}33;\ \ \alpha = 0{,}24;\ \ \gamma = 0{,}258;\ \ a = 1{,}74;$$
$$\tau^2 = \rho(\varphi_{2)} = 7{,}7;\ \ \varphi_2 = 5{,}76;\ \ \rho_2 = 4{,}9;\ \ \tau' \approx 8{,}9.$$

Расчеты показывают, что для равномерно расширяющегося, со скоростью 1 м/сутки, источника загрязнения при скорости окружения 4 м/сутки локализовать его в зоне шириной до 10 м удастся только на 9 сутки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование процессов в природно-экономических условиях// Под ред. *В.И.Гурмана* и *А.И.Москаленко*. – Новосибирск: Наука, 1982. – 175 с.

2. *Анохин Ю.А.* Некоторые вопросы математического моделирования процессов, циркуляции веществ в природных геофизических средах. – В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 2, Л.; Гидрометеоиздат, 1979. – С. 147-160.

3. Оптимальное управление природно-экономическими системами// Под ред. В.И.Гурмана. М.: Наука, 1980. – С. 42-66.

4. *Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Шведовский П.В.* Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических моделях и методах. Алматы, Каганат, 2003. – 532 с.

УДК 502.3:550.8.053+631.6

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В СТРУКТУРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Волчек А.А., *Шведовский П.В., *Лукша В.В. **Бурлибаев М.Ж.
Брестский государственный технический университет,г. Брест, Беларусь,
Казахстанское Агентство Прикладной Экологии, г. Алматы, Казахстан

Изменения в динамике протекания многих природных процессов в последние десятилетия прошлого столетия привели к некоторому нарушению глобального равновесия, что и обусловило неопределенность состояния природной среды и соответственно стратегии и тактики в управлении ландшафтно-экологическими, водно-ресурсными и другими природными системами.

Высокая цена ошибочных решений при прогнозировании их изменений обуславливает необходимость совершенствования методологии системно-информационного анализа процессов и базирования прогнозов не на классических моделях, а на моделях, использующих аппарат производящих функций и принцип максимума неопределенности [1, 2, 3].

Принципиальным отличием катастрофических изменений природных систем от катастрофических изменений в большинстве эргономических и экономических процессов и систем, является неопределенность и искажаемость «массовой» информации о прогнозируемых условиях функционирования атмосферы, гидросферы и литосферы.

Концептуально система таких прогнозных исследований может быть описана следующим образом: известны начальные (A_1) и/или конечные $(A_к)$ и/или последовательные состояния $A_1, A_2,...,A_m$ системы и /или последовательность переходов $\vec{A}_1, \vec{A}_2,...,\vec{A}_m$; нужно отыскать одно из неизвестных состояний, либо элементы системы $a_1, a_2,..., a_m$ системы и ее структуру $\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_2,...,\vec{\alpha}_m$.

Для этих прогнозных исследований в целом применимы следующие группы подходов: ситуационные, имитационные, системно-информационные, общесистемные, органоморфные, термодинамические и искусственного интеллекта. Особенности подходов определяют и множество имеющихся групп решений как теоретических, на базе математической логики, абстрактной алгебры, детерминированного дифференциального и интегрального исчисления, интегральной алгебры и теории ошибок, категорий, множеств и мер, нечетких множеств, мер и интегралов, так и модельных – графовых, логико-динамических, композиционных, стохастических, нейросетевых, категорных и тензорных.

Конфликтная природа процессов требует формализации неопределенной (неоднозначной, недостоверной, неизвестной) информации методами математических теорий. Наиболее эффективными являются теория нечетких интегралов, множеств и нечетких мер, базирующиеся на нечетких процессах.

С математической точки зрения нечеткая мера *q(•)* является однопарамет-рическим расширением вероятностной меры, которая удовлетворяет условиям ограниченности, монотонности и непрерывности, а нечеткий процесс – это процесс, состояние которого в каждый момент времени *t-T* может быть описано некоторым распределением нечеткости $\mu_t(\omega) \in F(\Omega)$ на пространстве состояний процесса Ω.

Состояние любой системы может быть определено совокупностью динамических процессов, которые формируются действием совокупности внешних и внутренних факторов $x=\{x\}$, при этом для фактора $x_к \in x$ возможное состояние процесса ограничивается некоторым нечётким процессом, описываемым нечётко-интегральным уравнением вида:

$$\sigma_{x_k}\left(\frac{\omega}{t_{пр}}\right) = \oint_T h_{x_k}(\omega, t_{пр}) \cdot \oint_{\psi_{T(\omega)}} f_{t_{пр}}(\omega) \cdot g_\omega(\bullet), \tag{1}$$

где $t_{пр} \in T$; T – нечеткий временной интервал прогноза; $\sigma_{x_k}\left(\frac{\omega}{t_{пр}}\right)$ – функция распределения нечеткой меры (нечеткости) на Т, связывающей пространства Т и Ω т.е. $\sigma_{x_k}\left(\frac{\omega}{t_{пр}}\right)/T \to [01]$; $\int(\bullet)$ – нечеткий интеграл; $g\omega(\bullet)$ – расширенная нечеткая мера; $h_{x_k}(\omega, t_{пр})$ – функция преобразования нечеткой динамической системы, определяющей её динамику и $h_{x_k}(\omega, t_{пр})/(\Omega \times T) \times \Omega \to [01]$; $f_{t_{пр}}(\omega)$ – функция распределения плотности произвольного нечеткого множества.

С учетом функции важности *p(x)* нечетко-интегральное уравнение принимает вид:

$$\sigma'_{x_k}(\omega, t_{пр}) = \left(p(x_k)\big|_{\ell_F}\right) \cdot \sigma_{x_k}(\omega, t_{пр})^{p(x_k)|_{qF}}. \tag{2}$$

Мера соответствия $\mu^m(\omega)$ истинному состоянию нечеткого процесса может определяться мерой возможности (оптимистический) или мерой необходимости (пессимистический вариант), т.е.

$$\begin{cases} \nu(\mu^u, \mu^m) = \min\limits_{\omega \in \Omega}\{\mu^u(\omega); \mu^m(\omega)\} \\ \nu(\mu^u, \mu^m) = \max\limits_{\omega \in \Omega}\{\mu^m(\omega), 1 - \mu^u(\omega)\} \end{cases} \tag{3}$$

Полагая, что эффективность управления нечеткой динамической системой определяется множеством критериев $\Theta(\nu)$ с нечеткой мерой их важности $q^\Theta(\bullet):2^\Theta \to [01]$, в общем случае потери (ухудшение, изменение) $\ell(\nu, u)$ по каждому из показателей (факторов, условий) $\nu \in \Omega$ зависят от выбора управления $u(t,\omega) \in U$ в конкретный момент времени и для конкретного состояния системы, т.е. $\ell(\nu, u):\Theta x U \to [01]$. При этом нечеткое отношение $\ell(\nu,u)$ характеризует распределение меры возможности потерь по $\nu \in \Omega$ при $u \in U$, а $\ell'(\nu,u)$ –- меру выгодности и $\ell'(\nu,u)=1-\ell(\nu,u)$.

И тогда соответственно выигрыш по всем критериям в текущий момент времени определится зависимостью $\ell'_\Theta(u) = \oint_\Theta \ell'(\nu, u) g_\Theta(\bullet)$, а интегральный выигрыш определится функционалом $I = \oint_T \ell'_\Theta(u) \cdot \oint_{\psi_t(\bullet \setminus \omega)} f_\Gamma(\omega) g(\bullet)$, где $q(\bullet):2^\Omega \to [01]$, $f_\Gamma:\Omega \to [01]$ – нечеткий процесс на Ω задающей временную нечеткость динамики нечеткого динамического процесса.

Отсюда в соответствии с принципом оптимальности Беллана функциональное неравенство для определения оптимального управления примет вид $I(u^*) \geq \max\limits_{u \in U} \oint_\Theta \ell'(u, \upsilon) \cdot q_\Theta$, где *l'(u,v)* - функция выигрыша (нечеткий аналог функции Беллана [6]).

Все это позволяет сделать вывод, что основу решения любых проблем методами теории нечетких интегралов, множеств и мер составляет формализация нечетких данных.

Рассмотрим на примере формализацию нечетких данных для оценки уровня риска $d \in D$ формирования критического состояния водного режима Белорусского Полесья (табл.1).

Бесспорно, предложенная формализация нечетких данных не ограничивают 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.

Таблица 1

Формализация нечетких данных для оценки уровня риска

Описание данных	Формализованное представление данных
Полная уверенность, что риска нет	$\mu(d)=\begin{cases}0, d \in D \vert \{6\} \\ 1, d=6\end{cases}$
Полная уверенность, что риск есть, но тяжело оценить его значение	$\mu(d)=\begin{cases}1, & \mu(\bullet)=\mu_{вз}(\bullet), d \neq 6 \\ \lambda \in [0,1] & \mu(\bullet)=\mu_{n}(\bullet), \mu_{D}(\bullet), d \neq 6 \\ 0, & \mu(\bullet)=\mu_{H}(\bullet), d=6\end{cases}$
Полная уверенность, что риск есть однако известно, что его значение от минимального до *y(d) = 1*0, *d $.* [2,3] допустимого	$\mu(d)=\begin{cases}1, d \in [2,3] \\ 0, d \in [2,3] \\ 0, d=6\end{cases}$
Полная уверенность, что риск есть, но значение его четко неизвестно	$\mu(d)=\begin{cases}\varphi(d), d \in D \vert \{6\} \\ 0, d=6\end{cases}$ $\varphi(d)$ – распределение нечеткости для риска низкого уровня
Полная уверенность, что риск допустимый	$\mu(d)=\begin{cases}0, d \in D \vert \{3\} \\ 1, d=3\end{cases}$
Вполне правдоподобно, что есть риск достаточно высокого уровня, но имеется и ненулевая *[Я, d = 6* возможность λ что риска нет	$\mu(d)=\begin{cases}M_{n}, d \in D \vert \{6\} \\ \lambda, d=6\end{cases}$ M_{n} – распределение меры правдоподобия для риска высокого уровня
Неизвестно есть риск или нет, но если есть, то его величина вообще неизвестна	$\mu(d)=\begin{cases}1, & \mu(\bullet)=\mu_{вз}(\bullet) \\ \lambda \in [0,1] & \mu(\bullet)=\mu_{n}(\bullet), \mu_{D}(\bullet) \\ 0, & \mu(\bullet)=\mu_{H}(\bullet)\end{cases}$
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; $M_{вр}$ - мера вероятности. Оценка риска: D=(1 - отсутствует, 2 - минимальный, 3 - допустимый, 4 - критический, 5 - недопустимый, 6 -неизвестно, является ли это риском); μ - функция принадлежности; λ - параметр нормировки.

В заключение отметим, что наблюдающиеся в последние годы катастрофические изменения в структуре природных процессов и функционировании глобальных и региональных гео- и экосистем и объектов обуславливают насущную актуальность исследований в области разработки методик решения прогнозных задач в условиях неопределенности на базе теории нечетких множеств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бочарников В.П.* (1998) Модель управляемого непрерывного нечеткого процесса. Проблемы управления. Издательство «КМУГА», Киев.

2. *Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Шведовский П.В.* (2003) Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических моделях и методах. Издательство «Каганат», Алматы.

3. *Логинов В.Ф., Волчек А.А., Шведовский П.В.* (2004) Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов. Издательство «БрГТУ», Брест.