

УДК 631.6:502.3+519.95+330.115

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ЭКОСИСТЕМ, ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И КРИТИЧЕСКИХ
УРОВНЕЙ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ**

Канд. геогр. наук	М.Ж. Бурлибаев
Канд. геогр. наук	А.А. Волчек
Канд. техн. наук	П.С. Пойта
Канд. техн. наук	П.В. Шведовский

В настоящее время все природные экосистемы подвержены антропогенному воздействию. Например, речные экосистемы невозможно представить без водохозяйственных объектов, расположенных в бассейнах рек. Поэтому, устойчивость антропогенно измененных экосистем определяется исходя из критических уровней экологической надежности и взаимосогласованности функций во времени.

Устойчивость экосистем и, соответственно, экологическая безопасность мелиоративных и водохозяйственных объектов зависит от критических уровней их экологической надежности. Так как экологическая безопасность определяется относительной сохранностью и быстрым восстановлением способности объекта к выполнению присущих ему функций, то оценка может базироваться на теории принятия решений в условиях неопределенности, непараметрических методов математической микро-статистики или морфологическом анализе [1, 2].

Для любой системы (объекта) на основе анализа ее эволюции, используя эвристические методы, возможно, составить систему расчетных случаев ее развития, с соответствующей степенью детализации [3, 4, 6].

В качестве оценочного показателя (оценочного функционала) ранжирования нами использован критерий Байеса $W_i = \sum_{j=1}^n P_j \cdot R_{ij}$, определяющий меру $\Delta_j = \max R_{ij} - 1$, $1 \leq \Delta_j \leq m$ и сумму рангов $S_i = \sum_{j=1}^m R_{ij}$, а

для количественной оценки – оценку Фишборна $P_j = \frac{2 \cdot (n - j + 1)}{n \cdot (n + 1)}$, $j=1, 2, \dots, n$.

С учетом принципа максимума неопределенности, выражения этих критериев и параметров примут вид:

$$S = \sum_{j=1}^{\ell} k_j \cdot (n - j + 1); \quad \ell = n - \sum_{j=1}^n (k_j - 1);$$

$$\sum_{j=1}^{\ell} k_j \cdot P_j = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad P = (n - j + 1 / S);$$

где k_j – степень кратности ранговых последовательностей при упорядочении по мере Δ_j .

Морфологическая матрица ранговых состояний для эко- и агроландшафтных систем Белорусского Полесья имеет вид таблицы. В основу матричных данных положены результаты исследований последних 20 лет [5].

Анализ матрицы определяет следующие значения мер: $\Delta_1 = 9$, $\Delta_2 = 4$, $\Delta_3 = 8$, $\Delta_5 = 2$, $\Delta_6 = 7$, $\Delta_7 = 10$, $\Delta_8 = 7$, $\Delta_9 = 8$, $\Delta_{10} = 7$, $\Delta_{11} = 10$ и $\Delta_{12} = 9$, что и обуславливает следующее упорядочение ранговых последовательностей $B_7(B_{12}) > B_{12}(B_1, B_4) > B_3(B_9) > B_{10}(B_6, B_8) > B_2 > B_5$ с соответствующими весовыми коэффициентами $P_7 = P_{11} = 0,1008$; $P_{12} = P_1 = P_4 = 0,0924$; $P_3 = P_9 = 0,0840$; $P_{10} = P_6 = P_8 = 0,0756$; $P_2 = 0,0672$; $P_5 = 0,0588$.

Данное упорядочивание и определяет меру влияния объектных факторов на экобезопасность экосистем и тем самым необходимую степень их детализации. Определяющими факторами являются уровень гармонизации ресурсовоспроизводящих и средоформирующих функций (C_7), демографическая емкость территории по ресурсам (C_{11}), репродукционная способность территории (C_{12}), показатель антропогенных преобразований (C_1) и степень взаимодействия природных и производственных процессов (C_4). Полной детализации подлежат уровень гармонизации ресурсовоспроизводящих и средоформирующих и демографическая емкость территории по ресурсам.

Ранговая предпочтительность состояния водохозяйственных объектов с учетом совокупного действия факторов A' и только определяющих факторов A'' следующая:

$$A_8^I > A_7^I > A_6^I > A_{10}^I \text{ и } A_6^{II} > A_7^{II} > A_{11}^{II} > A_9^{II}.$$

Анализ ранговой предпочтительности определяет в качестве оптимального состояния $A_7^{I,II}$, которые формируются группой факторов по системе

$$C_{11} \rightarrow C_{10} \rightarrow \left\{ \begin{array}{c} C_6 \\ C_3 \\ C_{12} \end{array} \right\} \rightarrow C_8 \rightarrow C_9 \rightarrow \left\{ \begin{array}{c} C_4 \\ C_7 \\ C_2 \\ C_1 \end{array} \right\} \rightarrow C_5.$$

Для сравнения выполнено ранговое ранжирование предпочтительности состояний водохозяйственных объектов и формирующей системы факторов по критерию Байеса.

Соответственно имеем:

$$W_1 = 7,3668; W_2 = 3,1496; W_3 = 5,1963; W_4 = 7,1976; W_5 = 3,0643; W_6 = 8,7982;$$

$$W_7 = 9,3619; W_8 = 5,1965; W_9 = 4,8392; W_{10} = 3,6197; W_{11} = 9,0910; W_{12} = 8,3641.$$

Следовательно

$$A_7 > A_{11} > A_6 > A_{12} > A_1 > A_4 > A_8 > A_9 > A_{10} > A_2 > A_5.$$

Совпадение предпочтительности состояний по разным критериям практически полное.

Не менее актуальна и проблема оптимальных сроков реализации мероприятий, позволяющих перевести систему (объект) в желаемое состояние. Так как любые антропогенные системы (объекты) являются многоподсистемными, с непрерывным временем и непрерывными состояниями, то в основу определения оптимальных периодов должна лечь теория восстановления с использованием функции предельного распределения возраста

$$\psi(y) = \frac{1}{E(t)} \cdot \int_0^y \exp\left(-\int_0^x \lambda(x) dx\right) dt,$$

где $E(t)$ – математическое ожидание времени функционирования системы до критического уровня эконадежности и $E(t) = \int_0^{\infty} \tau \cdot f(\tau) d\tau$, τ – время оптимального функционирования основных подсистем; $\lambda(T)$ – средняя интенсивность формирования предкритических состояний системы.

Считая, что эконадежность системы в равной степени определяется эконадежностью всех m компонент [2, 6], то вероятность достижения ею критического уровня в промежутке от T до $T+\Delta t$ равна

$\gamma = \lambda \cdot \Delta_i + O(\Delta_i)$, где λ – постоянная величина, не зависящая от времени и числа компонент, определяющих требуемую эконадежность; $O(\Delta_i)$ – величина, имеющая порядок малости более высокий, чем Δ_i .

Тогда приняв, что система достигает критического уровня эконадежности, если число определяющих компонент достигает K , можно описать соответствующие переходы состояний экосистемы следующим образом $E_0 \rightarrow E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow \dots \rightarrow E_{K-1} \rightarrow E_K \rightarrow E_n$, где E_0 – начальное состояние системы; E_K – состояние системы при критическом уровне эконадежности; E_n – состояние системы с критическими уровнями эконадежности n компонент.

Переход системы из состояния E_0 в состояние E_n за время $[0, T+\Delta_i]$ может осуществляться одним из двух взаимно исключающих друг друга способов:

– за время $[0, T]$ имеет место переход $E_0 \rightarrow E_n$, а за время $[T, T+\Delta_i]$ не было формирования компонент с критическими уровнями с вероятностью совместности этих событий $P_n(T) \cdot [1 - (m-n) \cdot (\lambda \cdot \Delta_i + O(\Delta_i))]$;

– за время $[0, T]$ имеет место переход $E_0 \rightarrow E_{n-1}$, а за время $[T, T+\Delta_i]$ – $E_{n-1} \rightarrow E_n$ с вероятностью совместности этих событий $P_{n-1}(T) \cdot (m-n+1) \cdot (\lambda \cdot \Delta_i + O(\Delta_i))$.

Таким образом –

$$P_n(T+\Delta_i) = P_n(T) \cdot [1 - (m-n) \cdot (\lambda \cdot \Delta_i + O(\Delta_i))] + P_{n-1}(T) \cdot (m-n+1) \cdot (\lambda \cdot \Delta_i + O(\Delta_i))$$

и соответственно –
$$\frac{dP_n(T)}{dT} = -(m-n) \cdot \lambda \cdot P_n(T) + (m-n+1) \cdot \lambda \cdot P_{n-1}(T).$$

С каждым из состояний E_n связано число определяющих компонент $(m-n)$, что позволяет отыскать математическое ожидание числа компонент с некритическим состоянием –

$$A_K = \frac{K}{\sum_{i=0}^{K-1} \left[\left(\frac{1}{m-i} \right) + \frac{\lambda}{\ell} \right]}.$$

Если $A_K > A_{K+v}$, то это значит, что, реализуя природоохранно-восстановительные мероприятия при K критических компонентах, мы зна-

чительно увеличим период оптимального функционирования системы по сравнению с реализацией этих же мероприятий в период формирования $(K+v)$ критических компонент.

А так как, если $A_k > A_{k+1}$, то $A_k > A_{k+v}$, что соответственно и определяет число компонент, обуславливающих достижения системой критического уровня эконадежности.

Отсюда период реализации природоохранно-восстановительных мероприятий будут оптимальным при достижении критического уровня одной компонентой системы, когда $\frac{1}{m \cdot (m-1)} \geq \frac{\lambda}{\ell}$, двух компонент, если

$$\frac{1}{m \cdot (m-1)} < \frac{\lambda}{\ell} \leq \frac{3 \cdot m - 1}{m \cdot (m-1) \cdot (m-2)} \text{ и т. д.}$$

Заметим, что $\frac{\lambda}{\ell} = \frac{E(\theta)}{E(\tau)}$, где $E(\theta)$ – математическое ожидание

времени τ оптимального функционирования систем с компонентой, не достигшей критического уровня, а $E(\theta)$ – математическое ожидание времени θ необходимого для восстановления эконадежной системы.

Исходя из среднестатистических значений для типовых агроландшафтных систем, имеем: $E(\tau)=15$ лет, $E(\theta)=3$ года и $m=12$. Тогда $m=1$ расчетное соотношение $1/132$, для $m=2 - 1/40$, $m=3 - 1/25$, $m=4 - 1/8$, $m=5 - 1/4$ и $m=6 - 1/2$.

Так как $\lambda/\ell = 1/5$, то оптимизационный период для повышения эконадежности системы будет при достижении критического состояния

любыми четырьмя компонентами, так как $\frac{1}{B} < \frac{\lambda}{\ell} = \frac{1}{5} < \frac{1}{4}$.

Однако, на практике чаще всего осуществляют покомпонентное восстановление эконадежности системы, что определяет необходимость исследований особенностей перехода систем не только в соседние (слабоизмененные) состояния $(a_i \rightarrow a_{i+1})$, но и в сильноизмененные (деградированные) состояния $(a_i \rightarrow a_{i-k})$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивченко Б.П., Мартыщенко Л.А. Информационная экология. – С.-П.: Нордметиздат, 1998. – 201 с.

2. Никифоров И.В. Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов. – М.: Наука, 1983. – 198 с.
3. Румбель Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир, 1965. – 392 с.
4. Мартыщенко Л.А., Панов В.В. Моделирование распределений, заданных характеристическими функциями. – М.: Кибернетика, 1985, № 3, с. 19 – 26.
5. Федоров В.Г., Шведовский П.В., Лукша В.В. Комплексная социо-эколого-экономическая оценка процессов трансформации природных и создания агроландшафтных систем. Вестник БГТУ, №2(2) 2000. – Брест: БГТУ, 2000. – с. 2-4.
6. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность. – М-Л.: Энергия, 1966. – 392 с.

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

Научно-исследовательский институт проблем Полесья НАН РБ
Брестский государственный технический университет

ЭКОЖҮЙЕЛЕРДІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ, СУ-ШАРУАШЫЛЫҚ ОБЪЕКТІЛЕРІН ПАЙДАЛАНУ ЖАҒДАЙЛАРЫНЫҢ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ СЕНІМДІЛІГІ ҚАУІПТІ ДЕҢГЕЙЛЕРІНІҢ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСТАРЫН ЗЕРТТЕУ

Геогр. ғылымд. канд.	М.Ж. Бүрлібаев
Геогр. ғылымд. канд.	А.А. Волчек
Техн. ғылымд. канд.	П.С. Пойта
Техн. ғылымд. канд.	П.В. Шведовский

Қазіргі кезеңде барлық табиғи экожүйелерге антропогендік ықпал жасалады. Мәселен, өзен экожүйелерін өзен алаптарында орналасқан су-шаруашылық объектілеріңіз елестету мүмкін емес. Сондықтан антропогендік өзгерістерге душар болған экожүйелердің тұрақтылығы экологиялық сенімділігінің қауіпті деңгейі мен олардың қызметінің уақыттағы сәйкестігіне негізделі отырып анықталады.