

Ivan Kirvel

Akademia Pomorska
Słupsk

Daria Shvedovskaya

Piotr Shvedowski

Aleksander Volchak

Brzeski Uniwersytet Techniczny
Brześć

OCENA EKOLOGICZNA OPTIMALNEGO FUNKCJONOWANIA SYSTEMÓW NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH

ECOLOGICAL EVALUATION OF OPTIMAL FUNCTIONING OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC SYSTEMS

Zarys treści: W artykule przedstawiono funkcje oceny zrównoważonego rozwoju środowiska i prawdopodobieństwo optymalnego funkcjonowania eko- i antroposystemów. Szczególną wagę przywiązuje się do poszukiwania rozwiązań w przypadku braku informacji *a priori*. Wykazano, że wiarygodne oszacowanie prawdopodobieństwa optymalnego funkcjonowania obu systemów wymaga stosowania kryteriów efektywności i preferencji prowadzących do konsensusu i optymalizacji, a w rezultacie – spójności systemów.

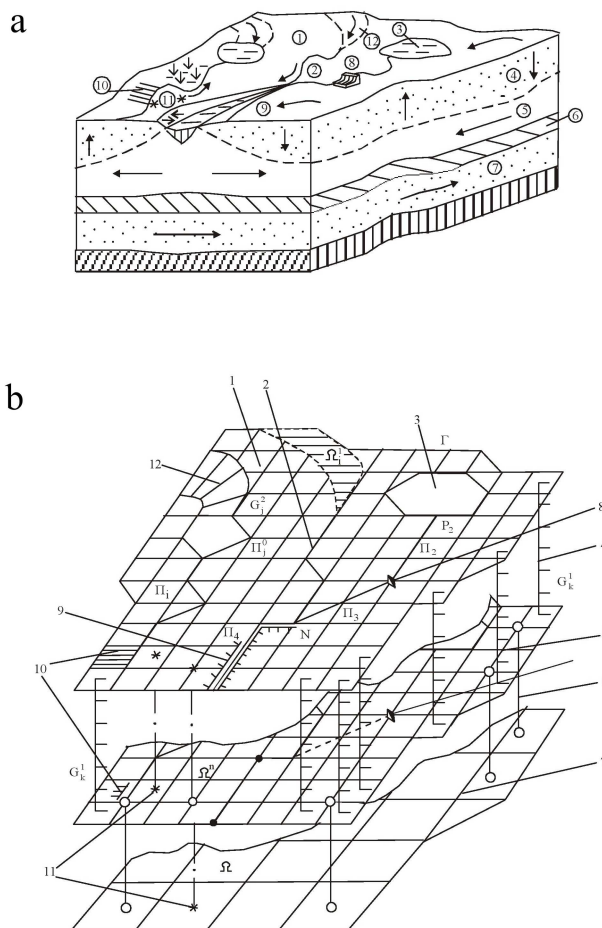
Słowa kluczowe: systemy antropogeniczne, bezpieczeństwo ekologiczne, niepewność

Key words: anthropogenic systems, ecological security, insecurity

Wstęp

Skala bezpośrednich i pośrednich strat na skutek następstw sytuacji nadzwyczajnych o charakterze naturalnym lub antropogenicznych wywiera istotny wpływ na tempo zrównoważonego rozwoju gospodarczego zarówno poszczególnych regionów, jak i całych krajów (Volchak i in. 2002). Ocena oddziaływania tych czynników na środowisko wymaga wiedzy o ochronie przyrody i zasobach antropogenicznych, sanitarnych, ekologicznych, ponadto jasnych kryteriów ekologicznych i ekonomicznych charakteryzujących stan i zmiany naturalnego środowiska oraz stopień antro-

popresji (Major 2009). Złożoność rozwiązania problemu oceny ekologicznej stabilności oraz prawdopodobieństwa optymalnego funkcjonowania systemów odzwierciedla ogólny schemat kształtowania pól informacyjnych w regionie (ryc. 1).



Ryc. 1. Schemat kształtowania pól informacyjnych

Fig. 1. Diagram of the information fields

a – składowe, b – struktura informacyjna;

1 – spływ powierzchniowy (G_1^2); 2 – sieć rzeczna (Π); 3 – zbiorniki wodne (Γ); 4 – poziom strumieni filtracyjnych; 5 – poziom wód gruntowych (Ω^g); 6 – poziom wód podziemnych pod ciśnieniem (Ω); 7 – odpływ podziemny; 8 – budowle hydrotechniczne (N); 9 – poziomy zalewowe; 10 – poziomy działania powierzchniowych systemów wodnogospodarczych (P); 11 – poziomy działania głębinowych systemów gospodarczych; 12 – poziom spływu powierzchniowego

Ocena prawdopodobieństwa optymalnego funkcjonowania systemów

Optymalność funkcjonowania każdego systemu da się określić za pomocą parametrów ekologicznej niezawodności i równowagi. Ogólnie prawdopodobieństwo optymalnego funkcjonowania systemów (\hat{p}) może być ocenione jedynie przez estymację punktową, ponieważ każdy z nich funkcjonuje w warunkach specyficznych i osiąga poziom krytyczny według nieustalonego ściśle wpływu podsystemów i połączenia składowych, tj. $p = 1 - d/n$, gdzie: n – liczba podsystemów, d – liczba podsystemów osiągających poziom krytyczny w okresie badawczym (Chorley, Kennedy 1971).

Stabilność optymalnego funkcjonowania systemu określa możliwość utrzymania struktury i właściwości funkcjonalnych. System narażony jest na działanie czynników zewnętrznych. Powrót do stanu pierwotnego, który oznacza równowagę, wiąże się z prawdopodobieństwem optymalnego funkcjonowania (Kostrzewski 1986). Oznacza to, że podczas operacji przechodzenia z jednego stanu systemu do drugiego nie powinno dochodzić do nagromadzenia antropogenicznych zmian oraz naruszenia równowagi systemu i jego parametrów, które nie mogą wykraczać poza dopuszczalne granice.

Ogólnie prawdopodobieństwo optymalnego funkcjonowania systemów (\hat{p}) da się określić tylko jako szacunek, ponieważ każdy z systemów działa w konkretnym środowisku i może osiągnąć poziom krytyczny rozumiany jako całkowity zakaz stałego połączenia podsystemów i ograniczenia wpływu składników, tj. $p = 1 - d/n$, gdzie n – liczba podsystemów równieźniczych, d – liczba podsystemów osiągających poziom krytyczny w okresie badawczym (Loginov i in. 2004, Volchak i in. 2012).

Jednak taka funkcja szacunkowa pozostaje uzasadniona i skuteczna jedynie przy $n \rightarrow \infty$, tj. przy dużej liczbie wybranych podsystemów badawczych. W analizie prawdopodobieństwa optymalnego funkcjonowania konkretnych systemów ($n \rightarrow \min$) należy użyć granic przedziału ufności dla p jako pierwiastków \bar{p} i \underline{p} równań:

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^{d-1} C_n^i \cdot \bar{p}^{-n-i} \cdot (1-\bar{p})^i = \gamma_1 \\ \sum_{i=0}^d C_n^i \cdot \underline{p}^{n-i} \cdot (1-\underline{p})^i = 1-\gamma_2, \end{cases} \quad [1]$$

gdzie: $\gamma_1 + \gamma_2 - 1 = \gamma$.

Przy tym $Bep\{\underline{p} < p < \bar{p}\} \geq \gamma$, gdzie: γ – zadany poziom ufności.

Pierwiastki \bar{p} i \underline{p} są kwantylami standardowego rozkładu β i

$$\bar{p} = f_1(n, d, \gamma_2); \quad \underline{p} = f_2(n, d, \gamma_2). \quad [2]$$

Ponieważ relacja składowych może mieć bezpośrednie lub pośrednie oddziaływanie na ocenę parametrów ekologicznej stabilności i niezawodności, należy jej dokonywać na zasadzie dominującego typu związku (bezpośredni–pośredni) oraz maksymalnego ryzyka.

Przy bezpośrednim współdziałaniu składowych dolna granica przedziału ufności ekologicznej $\left[p = \prod_{i=1}^N p_i \right]$ zostanie określona jako pierwiastek równania:

$$\tilde{p}_N = \sup p_N = 1 - \gamma, \quad \prod_{i=1} p_i = p, \quad [3]$$

gdzie: γ – obliczony poziom ufności; p_i – prawdopodobieństwo nieprzekroczenia przez składową poziomu krytycznego; N – ogólna liczba składowych.

Ponieważ

$$1 - \gamma = \mathfrak{I}_p(n - x, x + 1) = \frac{B_p(n - x, x + 1)}{B_1(n - x, x + 1)}, \quad [4]$$

gdzie: $\mathfrak{I}_p(n - x, x + 1)$ – znormalizowana niepełna β -funkcja, $B_p(n - x, x + 1)$ – β -funkcja Eilera, przy standardowej wymaganej wartości prawdopodobieństwa $\gamma = 0,9$ przybliżona wartość dolnej granicy dla \underline{p} przy $N = 12$ będzie wynosiła $0,6926 \leq \underline{p} \leq 0,7319$ (Volchak i in. 2003).

Przy pośrednim współdziałaniu składowych dolna granica przedziału ufności ekologicznej $\underline{p} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - n_i)$ zostanie określona z równania:

$$\underline{p} = 1 - (1 - f_2(n, d, \gamma))^m, \quad [5]$$

gdzie: $d = \sum_{i=1}^m d_i$, $f_2(n, d, \gamma)$ – pierwiastek równania $1 - \gamma = \sum_{k=0}^d C_n^k \cdot p_0^{n-k} = B_i(n, d, p_0)$.

Przy standardowej wymaganej wartości poziomu ufności $\gamma = 0,9$ dolna granica przedziału ufności \underline{p} prawdopodobieństwa optymalnego funkcjonowania systemu będzie wynosiła $\underline{p} = 0,986$.

Należy jednak zaznaczyć, że niezależnie od warunków funkcjonowania struktury, poziomu i rangi systemu model matematyczny uwzględniający rezerwę w zakresie ekologicznej niezawodności każdej ze składowych prezentuje się następująco:

$$p = p_0 \left(1 - \sum_{i=1}^N q_i \cdot \eta_i + \sum_{i>j} q_{ij} \cdot \eta_{ij} + \dots + (-1)^{N-1} \cdot q_{1,2,\dots,N} \right), \quad [6]$$

gdzie: p_0 – prawdopodobieństwo optymalnego funkcjonowania systemu pod warunkiem braku obniżenia ekologicznej niezawodności składowych do poziomu krytycznego; q_i – prawdopodobieństwo osiągnięcia poziomu krytycznego ekologicznej niezawodności przez każdą i -składową; η_i – współczynnik wagowy dla i -składowej określający jego funkcjonalną ważność (redundancję); $\eta_{ij}, q_{ij}, \dots, \eta_{1,2,\dots,N}, q_{1,2,\dots,N}$ –

współczynniki wagowe składowych i prawdopodobieństwa powstania podwójnych, potrójnych itd. procesów obniżenia ekologicznej niezawodności składowych; $\eta_i = 1 - p_i / p_0$; p_i – prawdopodobieństwo optymalnego funkcjonowania systemu przy osiągnięciu poziomu krytycznego ekologicznej niezawodności przez i -składową (Burlibayev i in. 2011, Shvedovskii, Luksha 2001).

W przypadku niezależności procesów osiągnięcia przez składowe poziomów krytycznych niezawodności ekologicznej przy $p_0 \approx 1$ mamy:

$$p = \prod_{i=1}^N (1 - q_i \cdot \eta_i), \quad [7]$$

gdzie: $q_i = d_i / n_i$.

Dyskusja

Ocena ekologicznych cech systemów według ograniczonego zakresu informacji warunkuje konieczność zastosowania nieparametrycznych metod mikrostatystyki w parze z empirycznymi dystrybuantami na podstawie zasad maksimum nieoznaczoności.

Ponieważ wybieranie wielkości losowych X_1, \dots, X_n zazwyczaj zgodne jest z empiryczną dystrybuantą $p_n(x)$ typu:

$$p_n(x) = \begin{cases} 0, & x \leq x_1^{(n)} \\ \frac{k}{n}, & x_k^{(n)} < x \leq x_{k+1}^{(n)} \\ 1, & x > x_n^{(n)} \end{cases} \quad [8]$$

otrzymane wyniki stanowią stopniowaną linię, na której widać szybkie zmiany wielkości $\frac{1}{n}$ w punktach, ustalanych przez szereg wariacyjny $x_1^{(n)} \leq x_2^{(n)} \leq \dots \leq x_n^{(n)}$ i zgodnie z prawem wielkich liczb. Funkcja ta zbiega się z prawdopodobieństwem do wyjściowego rozkładu teoretycznego. Określenie wartości oczekiwanej można uzyskać poprzez wykorzystanie funkcji kwantyli podziału oceny parametrów typu:

$$X_p = \sum_{k=0}^{n-1} C_k \cdot p^k. \quad [9]$$

Niejednoznaczność wyboru współczynników szeregu [8] wymaga wprowadzenia zasady maksimum nieoznaczoności z zastosowaniem wzoru Shennona jako miary nieoznaczoności (Gumbel 1981, Ivchenko, Martyshchenko 1998).

Odpowiednio otrzymujemy:

$$H_\varepsilon = \int_0^1 \ln \left(\sum_{k=0}^{n-1} k \cdot C_k \cdot p^{k-1} \right) dp \rightarrow \frac{\max}{C_k}; \quad [10]$$

$$X_k^{(n)} \leq C_0 + C_1 \cdot \frac{k}{n} + C_2 \cdot \left(\frac{k}{n}\right)^2 + \dots + C_{n-2} \cdot \left(\frac{k}{n}\right)^{n-1} \leq X_{k+1}^{(n)}, \quad [11]$$

gdzie: H_ε – entropia, $k = 1, 2, \dots, n$.

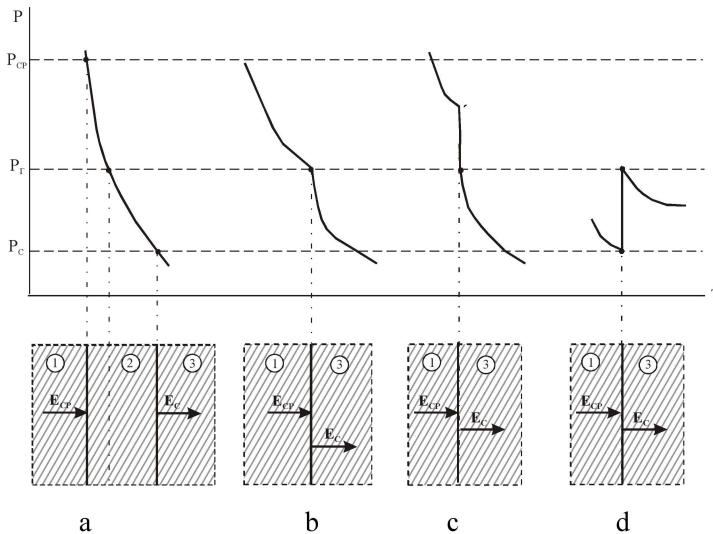
Realizacja takich zadań zależy jednak nie tylko od cech systemów, ale również od właściwości środowiska, które na granicach z systemami dysponuje określonymi własnymi stopniami swobody (ℓ_c). Oczywiście jest także, że systemy i środowisko mogą współdziałać tylko na zasadzie stopni swobody (n), które da się określić jako „zewnętrzne stopnie swobody” uzależnione od właściwości środowiska. Brak zewnętrznego lub wewnętrznego stopnia swobody wskazuje na zewnętrzną bądź wewnętrzną izolację systemu.

Na rycinie 2 przedstawiono schematy oddziaływań systemów i środowiska określających szczegóły powstawania dynamiki poziomu ich niezawodności ekologicznej (Shvedovskii, Luksha 2001).

Wyznaczając za pomocą E_i miarę zmian środowiska i systemu, otrzymujemy następujący układ równań:

$$\begin{cases} dE_{cp} + dE_c = 0 & n = \ell_c = \ell; \\ dE_{cp} + dE_c \pm \Delta E = 0 & n \leq \ell; \quad n = 0, \end{cases} \quad [12]$$

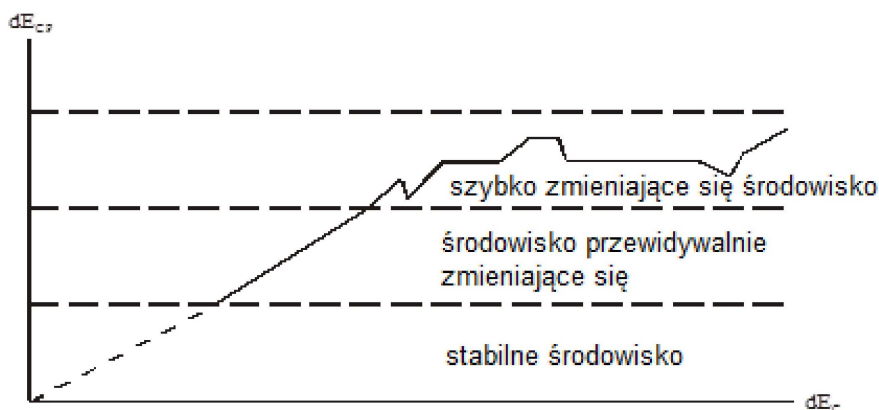
gdzie: ΔE – skok miary zmian; E_{cp} – miara zmiany środowiska; E_c – miara zmiany systemu.



Ryc. 2. Schematy oddziaływań geosystemów i środowiska

Fig. 2. Diagram of the geosystems' and environment's interaction

1 – środowisko; 2 – granica; 3 – system; a – systemy nienaruszone; b, c, d – systemy antropogeniczne



Ryc. 3. Ogólny schemat oddziaływań i wzajemnych związków środowiska i systemów
 Fig. 3. General diagram of the interactions and mutual relations of the environment and systems

Wszelkie schematy oddziaływań środowiska i systemów oraz współzależność między intensywnością miar zmian środowiska (dE_{cp}) i systemów (dE_c) przedstawiono na ryc. 3.

Ze względu na to, że stan środowiska obecnie przedstawia się jako graniczny między prognozowanym a szybko zmieniającym się, każde rozwiązanie techniczno-inżynierskie w zakresie użytkowania i zagospodarowania środowiska powinno być rozpatrywane jako zadanie kompromisowe o wielu kryteriach, z optymalizacją na zasadzie użyteczności, kompromisu i miary uzgodnień (Addiscott 1996).

Wybór optymalnego rozwiązania wynika z zastosowania grupy kryteriów skuteczności R_{ij} i preferencji U_{ij} (ekonomicznych, ekologicznych i społeczno-przyrodniczych), jak również optymalizacji na zbiorze podsystemów lub warunków.

Należy zaznaczyć, że wybór celu wymaga ścisłego określenia obszaru i kształtu konsensusu, normalizacji i uwzględnienia priorytetowości. Racjonalne jest dokonanie wyboru porozumienia drogą wykluczenia na podstawie jego własnych cech (Braun 1997, Heuvelink 1998).

Rozważmy zatem teoretyczne podstawy oceny zmiany poziomu ekologicznej stabilności i niezawodności funkcjonowania systemów.

Stan środowiska według podstawowych grup parametrów da się określić jako „środowisko szybko zmieniające się” i „środowisko przewidywalnie zmieniające się”. W związku z tym ocena zmian poziomu ekologicznej stabilności może zostać przeprowadzona z zastosowaniem krzywych wzrostu niezawodności.

Najprostszy jest model wykładniczy wzrostu ekologicznej niezawodności typu:

$$P_n = 1 - A' \cdot \exp(-B' \cdot (n-1)), \quad [13]$$

gdzie: P_n – prawdopodobieństwo optymalnego funkcjonowania systemów po realizacji przedsięwzięć w zakresie usuwania stanu krytycznego determinującej składowej; A' i B' – parametry obrachunkowe.

Ogólnie model ten może być przedstawiony jako:

$$P_N = P_\infty - \eta' / N, \quad [14]$$

gdzie: P_N – prawdopodobieństwo optymalnego funkcjonowania systemu na N etapie przywrócenia ekologicznej niezawodności; P_∞ – obliczeniowy poziom ekologicznej niezawodności osiągalny przy $N \rightarrow \infty$.

W celu wyznaczenia P_∞ oraz η' ważne jest wykorzystanie metody maksymalnego prawdopodobieństwa:

$$\left. \begin{aligned} \hat{\eta} &= \frac{\frac{1}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N n_i} \cdot \left[\sum_{i=1}^N (n_i - d_i) \cdot N - \frac{N+1}{2} \cdot \sum_{i=1}^N (n_i - d_i) \right]}{\frac{(N+1)}{2} \cdot C_1 - N} \\ \hat{P}_\infty &= \frac{\frac{1}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N n_i} \cdot \left[\frac{C_1}{N} \sum_{i=1}^N (n_i - d_i) \cdot N - \sum_{i=1}^N (n_i - d_i) \right]}{\frac{(N+1)}{2} \cdot C_1 - N} \end{aligned} \right\} \quad [15]$$

gdzie: $C_1 \approx \log(N + 0,5) + 0,577 = \sum_{i=1}^N \frac{1}{i}$; N – liczba etapów przywrócenia ekologicznej niezawodności; d_i – liczba obliczanych składowych.

Po przywróceniu ekologicznej niezawodności model wzrostu będzie wyglądał następująco:

$$\hat{P} = 1 - \hat{q}_N - \hat{q}_0, \quad [16]$$

$$\text{gdzie: } \hat{q}_0 = \frac{\sum_{i=1}^N d_{C_i}}{\sum_{i=1}^N (d_{C_i} + d_{y_i} + n_i)}; \quad \hat{q}_N = \left(1 - \hat{q}_0\right) \cdot \max_{S \geq i} \min_{r \leq i} \frac{d_{yr} + \dots + d_{ys}}{d_{yr} + n_2 + \dots + d_{ys} + n_s};$$

d_{C_i} – liczba składowych o charakterystycznym obniżeniu ekologicznej niezawodności z przyczyn nieokreślonych; d_{y_i} – liczba składowych o przywróconym poziomie ekologicznej niezawodności; n_i – liczba składowych z poziomu ekologicznej niezawodności, których nie osiągnął stan krytyczny.

Biorąc pod uwagę, że każdy z danych modeli wzrostu ekologicznej niezawodności ma własne ograniczenia dla systemów, praktyczne zainteresowanie metodą obliczenia ogranicza się jedynie do jej podstawowej prawidłowości. Są to: metoda wy-

kładnicza, metoda ewidencji o charakterze narastającym oraz metoda maksymalnego prawdopodobieństwa (Raifa 1997).

Dla metody wykładniczej bieżące zmienne prawdopodobieństwo optymalnego funkcjonowania systemu może zostać opisane za pomocą następującego wzoru:

$$\hat{p}_i = \hat{p}_{i-1} + v \cdot \left(y_i - \hat{p}_{i-1} \right), \quad [17]$$

gdzie: v – stała wyrównania; y_i – bieżąca wartość wielkości.

Przy możliwości ewidencji nie tylko bieżącej wartości y_i wolno wykorzystać następujący wzór:

$$\hat{p}_i = v \cdot \sum_{k=0}^{i-1} (1-v)^k \cdot y_{i-k} \cdot (1-v)^i \cdot y_0; \quad [18]$$

$$0 \leq v = 2 / (N + 1) \leq 1.$$

Przy $v = 0$ wartość p jest stabilna i nie potrzeba wykorzystywać nowej informacji o procesie zmiany stabilności ekologicznej, a $v = 1$ oznacza, że poprzednia informacja o procesie jest niewiarygodna i że za ocenę \hat{p}_i należy przyjąć bieżący stan y_i .

Dla metody ewidencji o charakterze narastającym metoda obliczeniowa jest podobna do modelu wzrostu niezawodności $p_i = 1 - q_0 - q_i$, tj.:

$$\hat{p}_i = 1 - \hat{q}_0 - \hat{q}_i, \quad [19]$$

gdzie: $\hat{q}_0 = \sum_{i=1}^N d_{C_i} / \sum_{i=1}^N n_i$; $\hat{q}_i = \left(1 - \hat{q}_0 \right) \cdot d_{y_i} / (d_{y_i} + t_i)$; t_i – liczba składowych o ekologicznej niezawodności, które nie osiągnęły poziomu krytycznego.

Wnioski

Działalność gospodarczo-inżynierska spowodowała w dzisiejszych czasach powstanie problemu zagrożenia ekologicznego, godzącego nie tylko w interesy społeczeństwa, ale także w jego życie i funkcjonowanie, poprzez pogorszenie jakości środowiska.

Jak pokazano na podstawie analizy kształtowania pól informacyjnych, rozwiązanie tego problemu wymaga nie tylko opracowania metodyki oceny prawdopodobieństwa optymalnego funkcjonowania systemów i obiektów, lecz również oceny zmian w poziomie ekologicznej równowagi i niezawodności funkcjonowania systemów, zwłaszcza w przypadku braku informacji.

Zastosowanie nieparametrycznych metod mikrostatystyki o empirycznych funkcjach rozkładu na podstawie zasad maksymalnej nieoznaczoności i wykładniczych modeli wzrostu ekologicznej niezawodności wykazało, że każde rozwiązanie tech-

niczno-inżynieryjne w zakresie użytkowania i zagospodarowania środowiska powinno być rozpatrywane jako zadanie oparte na wielu kryteriach z optymalizacją na zasadzie najwyższej użyteczności.

Celowe jest przeprowadzanie oceny ekologicznej stabilności prawdopodobieństwa optymalnego funkcjonowania systemów środowiskowych i antropogenicznych z zastosowaniem zarówno kryteriów skuteczności R_{ij} i preferencji U_{ij} , jak i optymalizacji na zbiorze podsystemów.

Literatura

- Addiscott T.M., Tuck G., 1996, *Sensitivity analysis for regional-scale solute transport modelling*, SSSA Special Publication, 48, Madison, s. 153-162
- Braun P., 1997, *The problem of scaling in grid-related hydrological process modelling*, Hydrological Processes, 11, s. 1049-1068
- Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Шведовский П.В., 2011, *Чрезвычайные ситуации в природной среде*, Алматы, с. 351 (Burlibayev M.Ž., Volchak A.A., Shvedovskii P.V., 2011, *Sytuacje nadzwyczajne w środowisku naturalnym*, Alma Ata, s. 351)
- Chorley R.J., Kennedy B.A., 1971, *Physical Geography. A System Approach*, London, s. 370
- Гумбель Э., 1981, *Статистика экспериментальных значений*, Москва, с. 362 (Gumbel E., 1981, *Statystyka wartości eksperymentalnych*, Moskwa, s. 362)
- Heuvelink G.B.M., 1998, *Uncertainty analysis in environmental modelling under a change of spatial scale*, Nutrient Cycling in Agroecosystems, 50, s. 255-264
- Ивченко Б.П., Мартыщенко Л.А., 1998, *Информационная технология*, Санкт-Петербург, с. 201 (Ivchenko B.P., Martyshchenko L.A., 1998, *Technologia informacyjna*, Sankt Petersburg, s. 201)
- Kostrzewski A., 1986, *Zastosowanie teorii funkcjonowania geosystemu do badań współczesnych badań morfogenetycznych obszarów nizinnych Polski północno-zachodniej*, Sprawozdania PTPN nr 103 za 1984, Poznań, s. 26-28
- Логинов В.Ф., Волчек А.А., Шведовский П.В., 2004, *Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов*, Брест, с. 301 (Loginov V.F., Volchak A.A., Shvedovskii P.V., 2004, *Praktyka stosowania metod statystycznych przy analizie i prognozie procesów środowiskowych*, Brześć, s. 301)
- Major M., 2009, *Możliwości zastosowania teorii funkcjonowania geoekosystemu do badań obszarów bezodpływowych*, Przegląd Geograficzny, 82, 1, s. 103-113
- Райфа Г., 1997, *Анализ решений*, Москва, с. 407 (Raifa G., 1997, *Analiza rozwiązań*, Moskwa, s. 407)
- Шведовский П.В., Лукша В.В., 2001, *Особенности математического моделирования скачков в развитии экологических систем и процессов*, Вестник БГУ, № 2 (18), с. 29-31 (Shvedovskii P.V., Luksha V.V., 2001, *Właściwości matematycznego modelowania skoków w rozwoju ekologicznych systemów i procesów*, Vestnik BGU, 2, 18, s. 29-31)
- Волчек А.А., Пойта П.С., Шведовский П.В., 2003, *Математические методы в природообустройстве*, Минск, с. 340 (Volchak A.A., Poyta P.S., Shvedovskii P.V., 2003, *Metody matematyczne w zakresie zagospodarowania przyrody*, Mińsk, s. 340)
- Волчек А.А., Пойта П.С., Шведовский П.В., 2012, *Мониторинг, оценка и прогноз чрезвычайных ситуаций и их последствий*, Брест, с. 425 (Volchak A.A., Poyta P.S., Shvedovskii P.V., 2012, *Monitorowanie, ocena i prognoza sytuacji nadzwyczajnych oraz ich następstw*, Brześć, s. 425)

Волчек А.А., Шведовский П.В., Образцов Л.В., 2002, *Математические модели в природопользовании*, Минск, с. 281 (Volchak A.A., Shvedovskii P.V., Obrazcov L.V., 2002, *Modele matematyczne w wykorzystaniu przyrody*, Mińsk, s. 281)

Summary

The article describes the features of the evaluation of environmental sustainability and the probability of the optimal functioning of the eco- and antroposystems. Particular attention is paid to the search for solutions in the absence of a priori information. It has been shown that a reliable estimate of the probability of the optimal functioning of both systems require the use of performance criteria and preferences leading to consensus and optimization, resulting in consistency of systems.

