

ECOLOGY

Один з підходів до дослідження водних екосистем

О. А. Котовенко, О. Ю. Мірошніченко

Київський національний університет будівництва і архітектури
Corresponding author: kotovenko_ea@ukr.net

Paper received 02.12.20; Accepted for publication 16.12.20.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-244VIII30-03>

Анотація. Як один з перспективних методів при дослідженні процесів зміни станів водних екосистем під дією антропогенного та техногенного навантаження в роботі пропонується застосування методу ймовірносно-автоматного моделювання. Такий підхід надає можливість визначити механізми процесів переходу системи із стану в стан, а також визначити характеристики даної системи в кожному із станів, враховуючи невизначеності, і провести аналіз екологічної ємності та визначити коефіцієнт вразливості водної екосистеми в дискретні моменти часу для певного регіону.

Ключові слова: водна екосистема, техногенне навантаження, екологічна ємність, коефіцієнт вразливості, ймовірносно-автоматне моделювання.

Вступ. Зміни у компонентах навколишнього середовища, які в наш час проходять під дією антропогенно-техногенних впливів, призводять до загальних змін як у регіональних, так і в глобальних екосистемах. Дослідження процесів, що протікають в підсистемах регіональної екосистеми є базовим системним підходом при визначенні і прогнозуванні їх стану. Ці процеси формуються і розвиваються під дією техногенних навантажень, обумовлених відповідним типом природокористування. Динамічні процеси, що пов'язані з природокористуванням взагалі і безперервно діючим техногенним навантаженням зокрема, які мають широкий спектр дій, постійно змінюються і впливають на компоненти екосистем, несуть в собі ризик змін та деградацію середовища. Характер цих змін обумовлений регіональними особливостями екосистем, в якості підсистем яких розглядається атмосфера, гідросфера і літосфера. Особливу і дуже важливу роль в аналізі, вивченні та прогнозі станів регіональних екосистем відіграє дослідження процесів міграційного накопичення забруднювачів та змін їх під дією техногенезу. Оскільки фактори антропогенно-техногенного впливу мають ймовірнісний характер, то вирішення цієї проблеми вимагає застосування стохастичних підходів. Одним із таких підходів, що пропонується застосовувати, є ймовірносно-автоматне моделювання.

Короткий огляд публікацій з теми. На сьогодні існує велика кількість математичних моделей водних екосистем різного рівня складності та призначення. Вони базуються на різноманітних концепціях, що допускають різну формалізацію, тобто використання різноманітного математичного апарату. Найбільш поширеними серед них є [1-5]:

- моделі динаміки популяцій та співтовариств водних організмів, що базуються на класичній моделі «хижак-жертва»;
- моделі, що використовуються для дослідження основних закономірностей формування біологічної продуктивності водоймищ певного типу;
- моделі дослідження процесів якості води;
- моделі хімічних та біохімічних процесів, що протікають у водних системах;

- моделі процесів міграції і накопичення токсикантів і їх впливу на продуктивність гідробіонтів;
- моделі, що використовують кластерний аналіз тощо.

Узагальненої методології та загальних методів і моделювання трансформації природних екосистем поки що не існує. В той же час однією з найважливіших проблем, яка досліджується в гідроекології, можна вважати аналіз і вивчення механізмів процесів зміни (динаміку) і оцінку станів водної екосистеми під дією антропогенно-техногенних впливів.

Мета. Метою роботи є обґрунтування застосування ймовірносно-автоматного моделювання при дослідженні процесів і станів водної екосистеми під дією антропогенно-техногенного впливу.

Матеріали і методи. Для дослідження процесів, що проходять в водних екосистемах у конкретному регіоні під дією техногенного навантаження, в роботі пропонується застосування методу ймовірносно-автоматного моделювання.

Поняття ймовірнісного автомату – це синтез поняття кінцевого детермінованого автомату і ланцюгів Маркова. Він застосовується для побудови математичних моделей динамічних (еволюціонуючих) систем в яких присутні невизначеності, що описуються статистичними закономірностями. [6]

Невизначеність може бути пов'язана:

- з неточностями знань про стани в яких знаходиться модельована система в процесі свого функціонування;
- недетермінованістю зміни цих станів.

Ймовірносно-автоматне моделювання надає можливість опису переходів об'єкту моделювання в різні стани, а також застосовується для опису складних багатокомпонентних систем і складних багатобактерних процесів. [6,7]

Ймовірнісні автомати приймають вхідні дії (впливи) і реагують на них шляхом видачі вихідного сигналу, а також переходу з поточного внутрішнього стану в наступний. Природа зміни станів та вихідна реакція носять ймовірнісний характер.

Ймовірносно-автоматна модель процесу накопичення техногенних змін у водній екосистемі, що розг-

лядається, задається за допомогою відповідних автоматів, кількість яких дорівнює подвоєній загальній кількості досліджуваних техногенних впливів плюс сумарна кількість техногенних впливів на всьому відрізку перебування.

За екологічний критерій для дослідження водної екосистеми обирається такий показник, як екологічна ємність цієї системи, тобто кількісно виражена здатність (ступінь здатності) екосистеми виконувати природну функцію під дією антропогенних/техногенних навантажень:

$$\varepsilon = I_{вр} \cdot P$$

де $I_{вр}$ – індекс вразливості екосистеми, що характеризує динаміку здатності екосистеми до самоочищення (самовідновлення) при різних рівнях антропогенного (техногенного) навантаження:

$$I_{вр} = \frac{\Delta S}{\Delta F} = \frac{(S_t - S_0)F_t}{(F_t - F_0)S_t}$$

S_0, S_t - індекси порушення компонента на фоновому та поточному етапі розвитку; F_0, F_t – потужності техногенного/антропогенного впливу, фоновому та поточному.

P – ресурсний потенціал водної екосистеми (РПВ), який характеризує інтегральні показники якості води і складається з показників характеристик, що визначають якість води (кратність відповідності ГДК).

Ресурсний потенціал водних об'єктів визначається як ступінь забруднення водних об'єктів регіону і наведений в таблиці 1.

Таблиця 1. Ресурсний потенціал водних об'єктів

Ступінь забруднення	Індекси сумарного забруднення	Ресурсний потенціал	Екологічна оцінка якості води
Допустима	0 – 5	5	Чиста
Помірна	5 – 10	4	Умовно чиста
Підвищена	10 – 15	3	Забруднена (шкідлива для питного вживання)
Висока	15 – 20	2	
Дуже висока	>20	1	

Індекси сумарної забрудненості води розраховується як

$$I = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$$

де $X_1 = X_{11} + X_{12}$ – сумарна кратність перевищення за органолептичними показниками:

X_{11} – кратність перевищення показників за смаком, запахом (в балах);

X_{12} – кратність перевищення ГДК за органолептичною ознакою шкідливості;

X_2 – кратність перевищення ГДК за токсикологічними властивостями (токсикологічною ознакою шкідливості);

$X_3 = X_{31} + X_{32}$ – кратність перевищення за санітарним режимом:

X_{31} – кратність перевищення БПК (біологічної потреби в кисні);

X_{32} – коефіцієнт, який показує недостатність розчиненого кисню у воді (1 – кисень у нормі; 0,25 – дуже висока недостатність кисню у воді);

X_4 – кратність перевищення за бактеріологічними показниками (перевищення допустимого вмісту бактерій групи кишкової палички у воді).[9-11]

Результати і їх обговорення. Задача дослідження полягає в урахуванні накопичення певного виду змін у водній екосистемі, що досліджується, за достатньо тривалий період часу вимірювання і розрахунку показників певних характеристик і на їх основі визначення показників РПВ в певні відрізки часу. Задача полягає також у дослідженні станів, в яких знаходиться водна екосистема у певні моменти часу (на основі РПВ), розрахунку інтенсивності процесу переходу екосистеми із стану в стан, коефіцієнтів вразливості у даному стані та зміни екологічної ємності на даному етапі еволюції системи.

При відображенні динаміки процесу зміни станів системи шляхом побудови ймовірнісних автоматів необхідно знати в якому стані знаходиться екосистема в початковий момент дослідження. [5]

База даних для побудови ймовірнісно-автоматної моделі водної екосистеми включає такі характеристики:

1. початкові дані стосовно факторів, що характеризують основний показник стану водної екосистеми;
2. моменти часу, в які відбувається вплив відповідних (визначених) техногенних факторів на водну екосистему;
3. кількісні характеристики діючих факторів кожного досліджуваного впливу;
4. потужність впливу відносно водних факторів кожного досліджуваного впливу;
5. ймовірності (кількості) випадкових знешкоджень дій факторів впливу (розмиви, розкладання тощо);
6. ймовірність накопичення наслідків діючих факторів;
7. ймовірність зменшення дії цих факторів на водну екосистему;
8. ймовірність впливу природних факторів на наслідки техногенного впливу.

Апроксимуючим законом розподілу, який найбільше відповідає накопиченню антропогенних змін у водній екосистемі обирається нормальний закон розподілу.[8,11]

Стан водної екосистеми може бути формалізований як функціоналами антропогенної дії, так і функцією, яка характеризує її стійкість.

В процесі статистичного дослідження використовується критерій згоди χ^2 Колмогорова-Смирнова, кореляційні та автокореляційні методи. [11,12]

Висновки. Ймовірнісно-автоматне моделювання при дослідженні водної екосистеми надає можливості:

1. аналізу властивостей механізмів процесів, що проходять у водних екосистемах, та оцінки станів екосистем;
2. оцінити потужність техногенних впливів за рахунок визначення інтенсивності переходу системи із стану в стан;
3. оцінювання та прогнозування розвиток процесів в екосистемах під дією техногенних навантажень;
4. прогнозування напрямку еволюційного розвитку водної екосистеми та загальної екосистеми певного регіону під впливом природокористування;

5. визначити та прогнозувати ймовірність переходу до стану деградації, що сприяє виявленню і уникненню таких станів і надає можливість визначення умов екологічно безпечного природокористування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лаврик В.И. Математическое моделирование в гидроэкологических исследованиях / В.И. Лаврик, Н.А. Никифорович – Киев: Фитосоциум-центр, 1998. 287 с.
2. Судольский А.С. Динамические явления в водоемах / А.С. Судольский – Ленинград: Гидрометеоздат, 1991. 263 с.
3. Осадчий В.И. Применение стохастического подхода для определения классов состояния природных вод по химическим элементам качества / В.И. Осадчий, Л.А. Ковальчук, Н.Н. Осадчая, Ю.Б. Набиванец. - Наукові праці УкрНДГНУ, 2016. вип. 269. с.49-59.
4. Мокін В.Б. Математичні моделі та програми оцінювання якості річкових вод /В.Б.Мокін, Б.І. Мокін. — Вінниця: Універсум-Вінниця, 2000. — 152 с. ISBN 966-7199-81-9
5. Яцик А.В. Энциклопедия водного хозяйства, природокористування, природовідтворення, сталого розвитку / Яцик А.В., Шевчук В.Я. – Київ: Генеза, 2006. 1000с. ISBN 966-504-471-0
6. Кононюк А.Е. Дискретно-непрерывная математика. Книга 11. Автоматы. Часть 3. Вероятностные и нечеткие автоматы./ Кононюк А.Е. Киев: «Освіта України», 2017.
7. Яровицкий Н.В. Вероятностные автоматы и имитационное моделирование./ Н.В. Яровицкий Кибернетика и системный анализ. 1993. №3. с. 20-30
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и математическая статистика. / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. - Москва: Наука, 1973, 364 с.
9. Звіт 4-ДБ-2007 «Дослідження і визначення умов і механізмів екологічно-безпечного природокористування на рівні регіонів і регіональних екосистем». № держреєстрації 0107U000450, Київ КНУБА, етапи 1- із 2007-2009
10. Заграй Я.М., Котовенко О.А. Мірошниченко О.Ю. Визначення екологічної ємності регіональних екосистем як критерію оцінювання. 2010 Депон. рукопис ДРНП 87.03.17. ДІЕК КНУБА, Київ. 24 с.
11. Заграй Я.М. Вплив фізичних і хімічних забруднювачів на еко- і біосистеми / Заграй Я.М., Котовенко О.А. Мірошниченко О.Ю.; за ред. Заграя Я.М. Монографія. – Київ: Наукова думка, 2009. 276 с. ISBN 978-966-627-143-6
12. Котовенко О.А., Мірошниченко О.Ю. Стохастичне моделювання як інструмент дослідження розвитку процесів під дією природокористування в регіоні. Зб. Наук. Статей конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії, технологіях і системах сталого розвитку». Київ-Рубіжне – 2012. с .246-248

REFERENCES

1. Lavrik V.I. Mathematical modelling in hydroecological research/ V.I. Lavrik, N.A.Nikiforovitch – Kiev: Fitosocium-center, 1998. 287 s.
2. Sudolsky A.S. Dynamic phenomena in reservoirs / A.S. Sudolsky - Leningrad: Hydrometeoizdat, 1991. 263 s.
3. Osadchiy V.I. Application of the stochastic approach for definition of classes of a condition of natural waters on chemical elements of quality / V.I. Osadchiy, L.A. Kovalchuk, N.N. Osadchaya, Yu.B. Nabivanec. - Scientific works of UkrNDGNU, 2016. issue. 269. pp.49-59
4. Mokin V.B. Mathematical models and programs for assessing the quality of river waters / V.B. Mokin, B.I. Mokin. - Vinnytsia: Universum-Vinnytsia, 2000. - 152 p. ISBN 966-7199-81-9
5. Yatsyk A.V Encyclopedia of water management, nature management, nature reproduction, sustainable development / Yatsyk A.V., Shevchuk V.Ya. - Kyiv: Genesis, 2006. 1000p. ISBN 966-504-471-0
6. Kononyuk A.Ye. Discrete-continuous mathematics. Book 11. Automata. Part 3. Probabilistic and fuzzy automata / Kononyuk A.Ye. Kiev: Osvita Ukrainy, 2017.
7. Yarovitskiy N.V. Probabilistic automata and simulation modeling. / N.V. Yarovitskiy Cybernetics and Systems Analysis. 1993. No. 3. pp. 20-30
8. Venttsel' Ye.S. Theory of Probability and Mathematical Statistics. / Ye.S. Venttsel', L.A. Ovcharov. - Moskva: Nauka, 1973, 364 p.
9. Zvit 4-DB-2007 « Research and determination of conditions and mechanisms of ecologically safe nature management at the level of regions and regional ecosystems». № derzhreestratsiyi 0107U000450, Kyiv KNUBA, etapy 1-3. 2007-2009
10. Zahray YA.M., Kotovenko O.A. Miroshnychenko O.YU. Vyznachennya ekolohichnoyi yemnosti regional'nykh ekosystem yak kryteriyu otsinyuvannya. 2010 Depon. rukopys DRNP 87.03.17. DIEK KNUBA, Kyiv. 24 s.
11. Zahray Ya.M. Influence of physical and chemical pollutants on eco- and biosystems. / Zahray Ya.M., Kotovenko O.A. Miroshnychenko O.Yu.; za red. Zahraya Ya.M. Monohrafiya. – Kyiv: Naukova dumka, 2009. 276 s. ISBN 978-966-627-143-6
12. Kotovenko O.A., Miroshnychenko O.YU. Stochastic modeling as a tool for studying the development of processes under the influence of nature management in the region. zb. nauk. statey konferentsiyi «Komp'yuterne modelyuvannya v khimiyi, tekhnolohiyakh i systemakh staloho rozvytku». Kyiv-Rubizhne – 2012. c .246-248

One of the approaches to the aquatic ecosystems study

O. A. Kotovenko, O. Yu. Miroshnychenko

Abstract. As one of the promising methods in the study of processes of change in the aquatic ecosystems state under the anthropogenic and man-made load action, the application of the probabilistic-automatic modeling method is proposed in the paper. This approach makes it possible to determine the processes mechanisms of system transition from state to state, as well as to determine the characteristics of this system in each state, taking into account uncertainties, and to analyze ecological capacity and determine the vulnerability of aquatic ecosystems in discrete moment times for a particular region.

Keywords: *aquatic ecosystem, man-caused load, ecological capacity, vulnerability coefficient, probabilistic-automatic modeling.*