

УДК 004.942:974.5

**МОНІТОРИНГ ЕВТРОФНИХ ПРОЦЕСІВ У ВОДОСХОВИЩАХ
РІЧКИ ТЕТЕРІВ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ОСНОВІ
ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ ПРОБ ВОДИ**

Т.О. Єльнікова, к.т.н., доц.
Житомирський державний технологічний університет
вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005, Україна.
E-mail: YelnikovaTetiana@gmail.com

Проведено ідентифікацію фітопланктону на основі використання цифрових відеозображень проб води та штучної нейронної мережі у водосховищі “Дениші” річки Тетерів Житомирської області. Початковими даними для моделювання є результати вимірювань геометричних параметрів, кількості та біомаси екземплярів фітопланктону у пробах води з водосховищ. Ці вимірювання здійснюються за допомогою автоматизованої системи на основі формування та алгоритмічної обробки відеозображень проб води, що відібрані з водойм та розміщені у мікроскопі з вбудованою цифровою відеокамерою. Встановлено видовий склад фітопланктону у водосховищі протягом 2015 року. Розроблено математичну модель сезонної динаміки розвитку фітопланктонних водоростей та досліджено екзо- та ендегенні фактори впливу на них. Проведено моніторинг процесів евтрофікації у водосховищі річки Тетерів на основі використання цифрових відеозображень проб води та штучної нейронної мережі у водосховищах річки Тетерів Житомирської області протягом досліджуваного періоду. Результати досліджень можуть бути використані для контролю та прогнозування екологічного стану водойм господарсько-побутового призначення, що використовуються для водопостачання населених пунктів.

Ключові слова: фітопланктон, математична модель, цифрове відеозображення.

**МОНІТОРИНГ ЭВТРОФНЫХ ПРОЦЕССОВ В
ВОДОХРАНИЛИЩЕ РЕКИ ТЕТЕРЕВ ЖИТОМИРСЬКОЇ
ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОБ ВОДИ**

Т.О. Ельникова, к.т.н., доц.
Житомирский государственный технологический университет
ул. Чудновская, 103, г. Житомир, 10005, Украина.
E-mail: YelnikovaTetiana@gmail.com

Проведена идентификация фитопланктона на основе использования цифровых видеоизображений проб воды и искусственной нейронной сети в водохранилище "Денъши" реки Тетерев Житомирской области. Исход-

ными данными для моделирования взяты результаты измерений геометрических параметров, количества и биомассы экземпляров фитопланктона в пробах воды из водохранилищ. Эти измерения осуществляются с помощью автоматизированной системы на основе формирования и алгоритмической обработки видеоизображений проб воды, отобранных из водоёмов и размещённых в микроскопе с встроенной цифровой видеокамерой. Установлено видовой состав фитопланктона в водохранилище в течение 2015 года. Разработана математическая модель сезонной динамики развития фитопланктонных водорослей и исследованы экзо и эндогенные факторы влияния на них. Проведен мониторинг процессов эвтрофикации в водохранилище реки Тетерев на основе использования цифровых видеоизображений проб воды и искусственной нейронной сети в водохранилищах реки Тетерев Житомирской области в течение исследуемого периода. Результаты исследований могут быть использованы для контроля и прогнозирования экологического состояния водоемов хозяйственно-бытового назначения, используемых для водоснабжения населенных пунктов.

Ключевые слова: фитопланктон, математическая модель, цифровое видеоизображение.

MONITORING OF EUTROPHICATION PROCESS OF TETERIV RIVER RESERVOIRS IN ZHYTOMYR REGION BASED ON VIDEO SAMPLES OF WATER

T.O. Yelnikova, PhD.

Zhytomyr State Technological University
st. Chudnivska, 103 Zhytomyr, 10005, Ukraine.

E-mail: YelnikovaTetiana@gmail.com

Purpose. An identification of phytoalgae through the use of digital video samples of water and artificial neural network in reservoir "Denyshi" of Teteriv River in Zhytomyr region. **Methodology.** The initial data for modeling are the results of measurements of geometric parameters and the number of copies of phytoalgae biomass in water samples from reservoirs. These measurements are made using automated systems based on the formation and algorithmic processing of video samples of water taken from the reservoir and placed in a microscope with digital camera. **Results.** Established species composition of phytoplankton in the reservoir during 2015. Mathematical model of seasonal dynamics of phytoalgae developed, and exogenous and endogenous factors influencing them studied. **Originality and practical value.** A monitoring processes of eutrophication in the reservoir of the river Teteriv through the use of digital video samples of water and artificial neural network in reservoirs river Teteriv Zhytomyr region during the period is taken. **Conclusion.** The research

results can be used for monitoring and forecasting of ecological state of water for household purposes, used for water supply.

Key words: phytoalgae, mathematical model, digital video.

Постановка проблеми. Важливою характеристикою стану екосистем та якості води є наявність у водоймі фітопланктонних водоростей. При значному підвищенні їх чисельності з'являється біологічне забруднення, у результаті якого значно погіршується якість води – зменшується прозорість, змінюється кольоровість, кислотність, у воді з'являються токсичні сполуки (продукти життєдіяльності водоростей та бактерій) і великої кількості органічних речовин, які слугують харчовими продуктами для бактерій, в тому числі і патогенних, вода набуває неприємного запаху. Використання таких вод для підготовки питної води можна розглядати як реальну загрозу здоров'ю населення. Тому важливо встановити контроль за циклами розвитку фітопланктону, особливо у водоймах господарсько-побутового призначення, і виділити фактори, що впливають на зміну їх чисельності. Метою статті є дослідження евтрофних процесів у водосховищах річки Тетерів Житомирської області та їх моделювання на основі інформаційно-комп'ютерних технологій.

Аналіз досліджень та публікацій за темою. Питанням вимірювання геометричних параметрів об'єктів на відеозображеннях присвячені роботи ряду відомих українських та зарубіжних вчених [1 – 7]. Однак у цих роботах відсутні відомості про вимірювання геометричних параметрів фітопланктону на основі алгоритмічної обробки відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про ці параметри. Також основною перешкодою для оперативного здійснення контролю за станом водойм є застарілі відомі методи вимірювання геометричних параметрів фітопланктону, розрахунку його чисельності та маси [7, 8].

Останнім часом з'явилося ряд науково-технічних розробок по дослідженню мікроорганізмів у пробах води [9 – 14].

У патентах JP 5146791 та JP 6028453 [9, 10] формується відеозображення екземплярів мікроорганізмів, виконується їх класифікація за лінійним розміром (довжиною). Але такий принцип класифікації не може бути використаний для ідентифікації фітопланктону за видовим складом, оскільки два екземпляри фітопланктону можуть мати однаковий лінійний розмір, але різну форму та належати до різних видів. У патенті JP 6034556 [11] формується відеозображення мікроорганізмів, на цьому відеозображенні виділяються окремі екземпляри мікроорганізмів, підраховується їх кількість, але відсутні процедури вимірювань геометричних параметрів, розпізнавання і ідентифікації. У патенті JP 5192678 [12] на основі цифрової обробки відеозображень визначається кількість мікроорганізмів у поточі стічних промислових вод. У цьому патенті відсутнє визначення ознак мікроорганізмів, необхідне для їх ідентифікації за видовим складом.

У науковій статті [13] розглянуто процедуру формування та обробки відеозображень фітопланктону, а також процедуру його ідентифікації. Ідентифікація виконується на основі обчислення спектра відеозображення та застосування кореляційного аналізу для порівняння спектрів відеозображень різних екземплярів фітопланктону. Однак такі спектральні ознаки дозволяють лише порівнювати відеозображення окремих екземплярів фітопланктону. Але вони не пов'язані безпосередньо з геометричними параметрами і класифікаційними ознаками форми для видів фітопланктону.

У науковій статті [14] розглянуто технічні засоби і способи ідентифікації 3-х видів морського фітопланктону за ознаками їх розмірів та форми. У статті також відзначається, що для ідентифікації в реальних умовах та для ідентифікації інших видів фітопланктону (наприклад, для фітопланктону прісноводних водойм) потрібні модифікація та доопрацювання цього способу. Таким чином, наведений у статті спосіб ідентифікації не може бути безпосередньо застосований для ідентифікації фітопланктону у водних об'єктах, що містять декілька десятків видів фітопланктону та використовуються для централізованого водопостачання населених пунктів.

Висока працемісткість, низька ефективність та швидкодія вказаних методів вимірювань не дозволяють швидко виявляти зміни, що відбуваються у розвитку ГПФ, своєчасно реагувати на них, та розробляти математичні моделі цих процесів.

Методи дослідження. Проведено ідентифікацію фітопланктону на основі використання цифрових відеозображень проб води та ШНМ. У цьому методі після розміщення у мікроскопі препарату з проби води формують його відеозображення за допомогою відеокамери, приєднаної до оптичної системи мікроскопа. Далі вводять це відеозображення в обчислювальне середовище цифрової електронної обчислювальної машини, причому виявлення кожного екземпляра фітопланктону виконують шляхом цифрової обробки відеозображення препарату з проби води. Після цього для кожного екземпляра фітопланктону розраховують геометричні ознаки форми, інваріантні до масштабування, зсуву та повороту цього екземпляра в площині відеозображення. Ідентифікацію фітопланктону виконують за допомогою штучної нейронної мережі, причому кількість входів цієї мережі відповідає кількості ГПФ, що використовують для ідентифікації, а кількість виходів цієї мережі відповідає кількості видів фітопланктону, що обрані для досліджень та можуть існувати в умовах водойм, які досліджують. Для навчання штучної нейронної мережі використовували тестові відеозображення, що містять фітопланктон заздалегідь відомих видів. В якості простора ознак для ідентифікації використовують ГПФ, що виміряні по його відеозображенням.

У даному методі ідентифікацію фітопланктону виконують на основі формування цифрових відеозображень препаратів з проб води та цифрової обробки цих відеозображень з використанням математичного апарату та алгоритмів штучних нейронних мереж. Таким чином, підвищується достовірність ідентифікації фітопланктону [4, 2].

Основні результати та їх аналіз. У результаті проведених досліджень було встановлено, що фітопланктон Денишівського водосховища представлений діатомовими, зеленими, синьозеленими, евгленофітовими, золотистими та динофітовими водоростями. У водосховищі переважали синьозелені, зелені та діатомові водорості. Евгленофітові, золотисті та динофітові зустрічались у невеликих кількостях, тому вирішального значення щодо впливу на показники, які характеризують токсичність водного середовища, вони не мали.

Для попередження евтрофних процесів у водоймах виникає необхідність у здійсненні контролю за динамікою сполук нітрогену і фосфору та спостереження за основними циклами розвитку фітопланктону. За результатами досліджень було встановлено, що нітрати та фосфати не тільки мали вплив на розвиток фітопланктону, але й були певним чином пов'язані між собою. Розрахунок коефіцієнтів кореляції ($R = 0,63$) виявив досить тісний зв'язок між концентраціями нітритів та фосфатів у водосховищах протягом року. Пояснення цього явища ґрунтується на визначенні особливостей взаємодії між зазначеними сполуками. Як відомо, сумісна дія Нітрогену та Фосфору сильніше стимулює розвиток фітопланктону, ніж дія кожного з цих біогенних елементів окремо. Крім того встановлено, що Фосфор відіграє регулюючу роль у формуванні продуктування. Підвищення його вмісту у воді сприяє більш повному використанню водоростями Нітрогену. Фосфор можна вважати основним фактором виникнення евтрофікації водойм. Без нього навіть при збагаченні водного середовища Нітрогеном евтрофні процеси значно послаблюються.

Побудова математичної моделі процесів розвитку водоростей у водосховищах річки Тетерів складається з таких етапів: отримання і накопичення експериментальних даних про процеси розвитку водоростей протягом певного періоду; введення цих даних в обчислювальне середовище цифрової ЕОМ; визначення загального вигляду функції, що описує даний процес; визначення чисельних значень коефіцієнтів функції; побудова графіків і визначення похибок моделювання.

Для дослідження динаміки зміни кількісного складу діатомових, зелених та синьозелених водоростей протягом року виконано апроксимацію їх кількості поліномом та визначено коефіцієнти поліному, що апроксимують експериментальні дані (рис. 1-3).

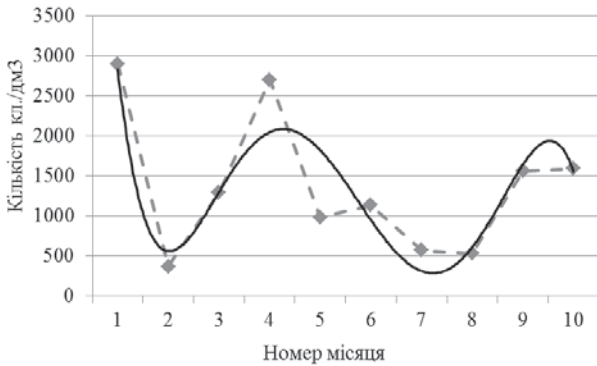


Рисунок 1 – Апроксимація процесів розвитку діатомових водоростей: штрихова лінія – дані експериментальних досліджень, суцільна лінія – апроксимація експериментальних даних поліномом 5-го ступеня

За результатами апроксимації змін кількісного складу діатомових водоростей (рис. 1) встановлено, що поліном має вигляд параболі 5-ого ступеня та описується рівнянням регресії (1):

$$N_{\text{діатом}} = -6,1218x^5 + 176,37x^4 - 1866,3x^3 + 8844,2x^2 - 18195x + 13877 \quad (1)$$

а достовірність кореляції дорівнює $R^2=0,8081$.

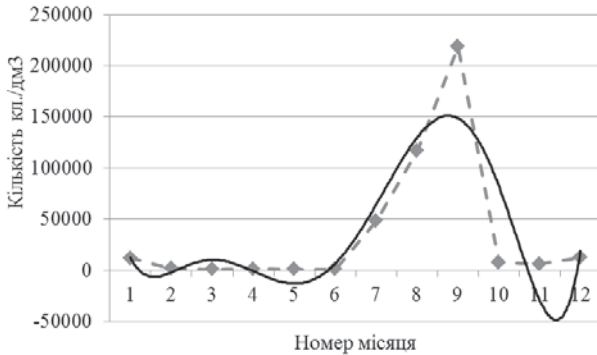


Рисунок 2 – Апроксимація процесів розвитку синьозелених водоростей: штрихова лінія – дані експериментальних досліджень, суцільна лінія – апроксимація експериментальних даних поліномом 6-го ступеня

За результатами апроксимації змін кількісного складу зелених водоростей (рис. 2) встановлено, що поліном має вигляд параболи 6-ого ступеня та описується рівнянням регресії (2):

$$N_{\text{зелені}} = 0,423x^6 - 16,222x^5 + 238,36x^4 - 1681,9x^3 + 5817,9x^2 - 8802,8x + 5283,4 \quad (2)$$

а достовірність кореляції дорівнює $R^2=0,6904$.

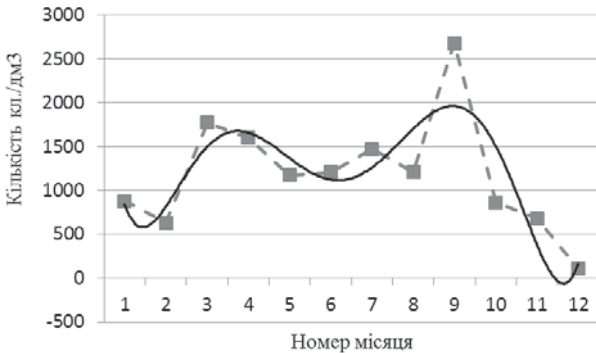


Рисунок 3 – Апроксимація процесів розвитку зелених водоростей: штрихова лінія – дані експериментальних досліджень, суцільна лінія – апроксимація експериментальних даних поліномом 6-го ступеня

За результатами апроксимації змін кількісного складу синьозелених водоростей (рис. 3) встановлено, що поліном має вигляд параболи 6-ого ступеня та описується рівнянням регресії (3):

$$N_{\text{синьозелені}} = 34,677x^6 - 1239,7x^5 + 16741x^4 - 107312x^3 + 339913x^2 + 498076x + 262552 \quad (1)$$

а достовірність кореляції дорівнює $R^2=0,7418$.

Висновки. Проведено моніторинг фітопланктону на основі використання цифрових відеозображень проб води та штучної нейронної мережі та розроблено математичну модель сезонної динаміки розвитку фітопланктонних водоростей у водосховищі “Дениші” річки Тетерів Житомирської області протягом 2015 року та досліджено екзо- та ендегенні фактори впливу на них. Використано метод ідентифікації забезпечив підвищення достовірності та підвищення продуктивності ідентифікації фітопланктону у пробах води з водойм. Проведено кореляційний та факторний аналіз процесів евтрофікації водойм Житомирської області.

Список використаних джерел

1. Измерительные сканирующие приборы / Под ред. Б.С. Розова. – М.: Машиностроение, 1980.–198с.

2. Сарвин А. А. Системы бесконтактных измерений геометрических параметров / А.А. Сарвин. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1983. – 144 с.
3. Растрингин Л.А. Системы очувствления промышленных роботов в ГПС / Л.А. Растрингин. - М.: Наука, 1989. - 286 с.
4. Застрогин Ю. Ф. Прецизионные измерения параметров движения с использованием лазера / Ю.Ф. Застрогин. – М.: Машиностроение, 1986. – 272 с.
5. Поліщук Є. С. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: Підручник / Є.С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б.І. Стадник та ін.; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 618 с.
6. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Д. Понс. – М.: Техносфера, 2005. – 840 с.
7. Андреев А.Д. Интегральная количественная оценка состояния фитопланктонного сообщества по структурным показателям / А.Д. Андреев, В. И. Щербак // Гидробиологический журнал. – 1994. – Т. 30, № 2. – С. 3-7.
8. Методичний посібник з визначення якості води / Під ред. В. І. Назаренка. – К., 2002. – 51 с.
9. Пат. 5146791 Японія, МПК С 02 F 3/00, G 01 N 21/84. Microbe Recognizer / Go Fumitomo, Yoda Mikio, Watanabe Shoji, Enbutsu Ichirou, Kaneko Tomonori, Hara Naoki ; заявник і власник патенту Hitachi, Ltd. – № JP19910336242 ; заявл. 26.11.91 ; опубл. 15.06.93.
10. Пат. 6028453 Японія, МПК С 02 F 3/00, G 01 N 15/06. Microorganism Recognizing and Monitoring Method by the Device / Takamatsu Shiego, Hara Naoki, Go Fumitomo, Watanabe Shoji, Yahagi Toshio, Yoda Mikio, Kaneko Tomonori ; заявник і власник патенту Hitachi, Ltd. – № JP19920179814 ; заявл. 07.07.92 ; опубл. 04.02.94.
11. Пат. 6034556 Японія, МПК С 02 F 3/00, G 01 N 15/00. Apparatus for Recognition and Display of Microbe / Go Fumitomo, Yoda Mikio, Hara Naoki, Enbutsu Ichirou, Watanabe Shoji ; заявник і власник патенту Hitachi, Ltd. – № JP19920190770 ; заявл. 17.07.92 ; опубл. 08.02.94.
12. Пат. 5192678 Японія, МПК С 02 F 3/12, G 01 N 33/18. Monitor of Microorganism Biota / Taguchi Kiyoshi ; заявник і власник патенту Tokyo Shibaura Electric Co. – № JP19920008659 ; заявл. 21.01.92 ; опубл. 03.08.93.
13. Automatic System for Phytoplanktonic Algae Identification / J. L. Pech-Pacheco, G. Cristobal, J. Alvarez-Borrego, L. Cohen // Limnetica, Asociacion Espaniola de Limnologia, Madrid, Spain. – 2001. – Vol. 20 (1). – P. 143-158.
14. Gorskyl G. The Autonomous Image Analyzer – Enumeration, Measurement and Identification of Marine Phytoplankton / G. Gorskyl, P. Guilbert, E. Valenta // Marine Ecology Progress Series. – 1989. – Vol. 58. – P. 133-142.

References

1. Rozova, B.S., Izmeritel'nye skanirujushhie pribory (1980), Mashinostroenie, Moscow, Russia.
2. Sarvin, A.A. (1983), Sistemy beskontaktnyh izmerenij geometricheskikh parametrov, Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta, Lviv, Ukrain.
3. Rastrigin L.A., (1989), Sistemy ochuvstvlenija promyshlennyh robotov v GPS, Nauka, Moscow, Russia.
4. Zastrogin, Ju.F. (1986), Precizionnye izmerenija parametrov dvizhenija s ispol'zovaniem lazera, Mashinostroenie, Moscow, Russia.
5. Polishhuk, Je.S., Dorozhovec', M.M., Stadnyk B.I. (2008), Zasoby ta metody vymirjuvan' neelektrychnyh velychyn, Beskyd Bit, Lviv, Ukrain.
6. Forsajt, D., Pons, D. (2005), Komp'juternoe zrenie. Sovremennyj podhod, Tehnosfera, Moscow, Russia.
7. Andreev, A.D., Shherbak, V.I. (1994), «Integral'naja kolichestvennaja ocenka sostojanija fitoplanktonnogo soobshhestva po strukturnym pokazateljam», Gidrobiologicheskij zhurnal T. 30, vol. 2. – pp. 3-7, Russia.
8. Nazarenko V.I (2002) Metodychnyj posibnyk z vyznachennja jakosti vody Kiev, Ukrain.
9. Fumitomo, Go, Mikio, Y., Shoji, W., Ichirou, E., Tomonori, K., Naoki, H., Hitachi, Ltd., № JP19910336242 (1993), Microbe Recognizer, Japonija, Pat. 5146791.
10. Shiego, T., Naoki, H., Fumitomo, G., Shoji, W., Toshio, Y., Mikio, Y., Tomonori, K., Hitachi, Ltd. – № JP19920179814 (1994), Microorganism Recognizing and Monitoring Method by the Device, Japonija, Pat. 6028453.
11. Fumitomo G., Mikio Y., Naoki H., Ichirou E., Shoji W., Hitachi, Ltd. – № JP19920190770 (1994), Apparatus for Recognition and Display of Microbe, Japonija, Pat. 6034556.
12. Kiyoshi T., Tokyo Shibaura Electric Co. – № JP19920008659 (1993), Monitor of Microorganism Biota, Japonija, Pat. 5192678.
13. Pech-Pacheco, J. L., Cristobal, G., Alvarez-Borrego, J., Cohen, L. (2001), «Automatic System for Phytoplanktonic Algae Identification», Limnetica, Asociacion Espaniola de Limnologia, Madrid, Spain, pp. 143 – 158.
14. Gorskyl, G., Guilbert, P., Valenta, E. (1989), «The Autonomous Image Analyzer – Enumeration, Measurement and Identification of Marine Phytoplankton», Marine Ecology Progress Series, pp. 133 – 142.

УДК 663.26:663.252.6(045)

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВИНОРОБНОЇ ГАЛУЗІ ЯК ДЖЕРЕЛА ВАЖЛИВОЇ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

О.В. Збаржевський, здобувач
Навчально-науковий інститут Екологічної