

ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ПІГМЕНТНИХ ПАРАМЕТРІВ ФІТОПЛАНКТОНУ У ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Здійснено математичне моделювання спектральних характеристик коефіцієнту дифузного відбиття шару водного середовища із частинками фітопланктону при зміні пігментних параметрів. Враховуючи вплив похибок на коефіцієнт дифузного відбиття на робочих довжинах хвиль спектральних каналів, оцінено помилки першого і другого роду, а також достовірність контролю у кожному із каналів засобу контролю. Достовірність багатопараметричного контролю пігментних параметрів мультиспектральним методом обчислена як добуток достовірностей у кожному із спектральних каналів. Робочі довжини хвиль і кількість каналів засобу мультиспектрального екологічного контролю визначаються спектральними характеристиками пігментів фітопланктону (хлорофілів та каротиноїдів), а також спектральними характеристиками джерела випромінювання і фотоматриці засобу контролю.

Ключові слова: мультиспектральний метод, водні середовища, спектральні характеристики, хлорофіл, фітопланктон.

S. M. KVATERNIUK

Vinnitsia National Technical University

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF MULTISPECTRAL ECOLOGICAL MONITORING OF PIGMENT PARAMETERS OF PHYTOPLANKTON IN AQUEOUS MEDIA

Mathematical modelling of the spectral characteristics of the coefficient of diffuse reflection of a layer of an aqueous medium with phytoplankton particles with a change in the pigment parameters is carried out. The functions of the probability density of errors occurring in the measuring channel of the multispectral environmental control are investigated. The dependence of the errors of the first and second kind and the reliability of the control of the pigment parameters of the phytoplankton on the threshold value of the diffuse reflection coefficient for a separate spectral channel of the monitoring instrument are analyzed. Taking into account the effect of errors on the coefficient of diffuse reflection on the working wavelengths of the spectral channels, the errors of the first and second kind, as well as the reliability of the control in each of the channels of the monitoring instrument, are estimated. The reliability of multivariate control of pigment parameters of multispectral methods was calculated as a product of reliability in each of the spectral channels. In order to obtain sufficient reliability of the control, it is necessary to select the correct spectral channels, when using which the overall reliability will not be less than the preset value. In particular, when using four channels with wavelengths of 530 nm, 590 nm, 620 nm and 730 nm in the multispectral environmental monitoring tool, the value of the reliability of the control of the ratio between chlorophyll a and total chlorophyll 0.939 is obtained, and when three channels with wavelengths of 450 nm, 470 nm and 660 nm, the reliability of the control of the ratio between carotenoids and total chlorophyll 0.972 was obtained. The working wavelengths and the number of channels of the multispectral environmental control are determined by the spectral characteristics of the phytoplankton pigments (chlorophylls and carotenoids), as well as the spectral characteristics of the radiation source and the photomatrix of the monitoring instrument.

Keywords: multispectral method, aqueous media, spectral characteristics, chlorophyll, phytoplankton.

Вступ

Для екологічного контролю водних об'єктів можна використовувати методи мультиспектрального контролю [1]. При цьому комплексний вплив забруднюючих речовин на водний об'єкт оцінюється за допомогою біоіндикації з використанням певних водних організмів, наприклад, фітопланктону чи вищих водних рослин [2]. Екотоксичність суміші невідомих забруднюючих речовин, що потрапили у водний об'єкт кількісно оцінюється за зміною параметрів біоіндикаторів. При використанні біоіндикації по фітопланктону екологічний контроль може здійснюватись за зміною таких пігментних параметрів, як співвідношення між хлорофілом а та загальним хлорофілом, або співвідношення між каротиноїдами та загальним хлорофілом. Метою роботи є оцінювання достовірності багатопараметричного мультиспектрального екологічного контролю пігментних параметрів фітопланктону у природних водних середовищах на основі результатів дослідження помилок першого та другого роду і достовірності контролю у окремих спектральних каналах.

Математичне моделювання спектральних характеристик коефіцієнту дифузного відбиття шару водного середовища із частинками фітопланктону при зміні пігментних параметрів

Використовуючи методику математичного моделювання розсіювання світла у малокутовому наближенні [3, 4] розв'яжемо пряму задачу визначення спектральних характеристик природних водних середовищ для таких випадків зміни пігментних параметрів фітопланктону:

а) співвідношення між хлорофілом а та загальним хлорофілом фітопланктону $Chla/Chl$ у водному середовищі змінюється від 0,8 до 0,9; співвідношення між каротиноїдами та загальним хлорофілом $Carot/Chl = 0,27 \pm 0,027$; біомаса фітопланктону у водному середовищі $B = 17,7 \pm 1,77$ мг/л;

б) співвідношення між хлорофілом а та загальним хлорофілом фітопланктону у водному середовищі $Chla/Chl = 0,8 \pm 0,08$; співвідношення між каротиноїдами та загальним хлорофілом $Carot/Chl$ змінюється від 0,2 до 0,4; біомаса фітопланктону $B = 17,7 \pm 1,77$ мг/л.

При цьому параметри фітопланктону мають нормальний закон розподілу. Розраховані спектральні характеристики коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища при зміні пігментних

параметрів фітопланктону наведено на рис. 1.

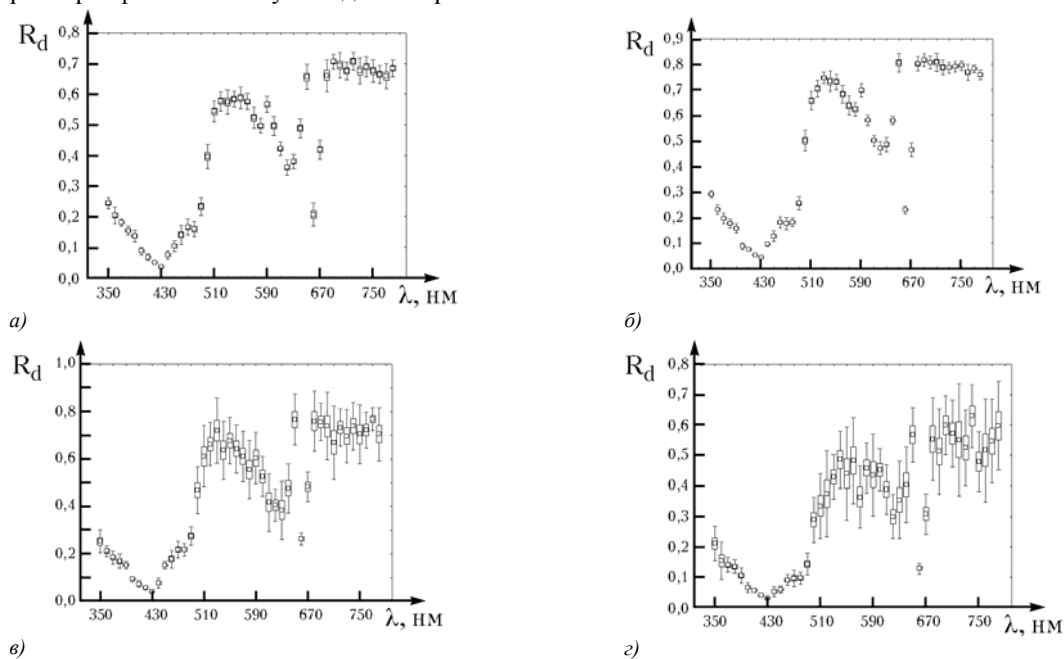


Рис. 1. Спектральні характеристики загального коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні природного водного середовища при зміні пігментних параметрів фітопланктону: **а)** Chla/Chl = 0,8 ; Carot/Chl = 0,27 ± 0,027 ; **б)** Chla/Chl = 0,9 ; Carot/Chl = 0,27 ± 0,027 ; **в)** Chla/Chl = 0,8 ± 0,08 ; Carot/Chl = 0,2 ; **г)** Chla/Chl = 0,8 ± 0,08 ; Carot/Chl = 0,4 .

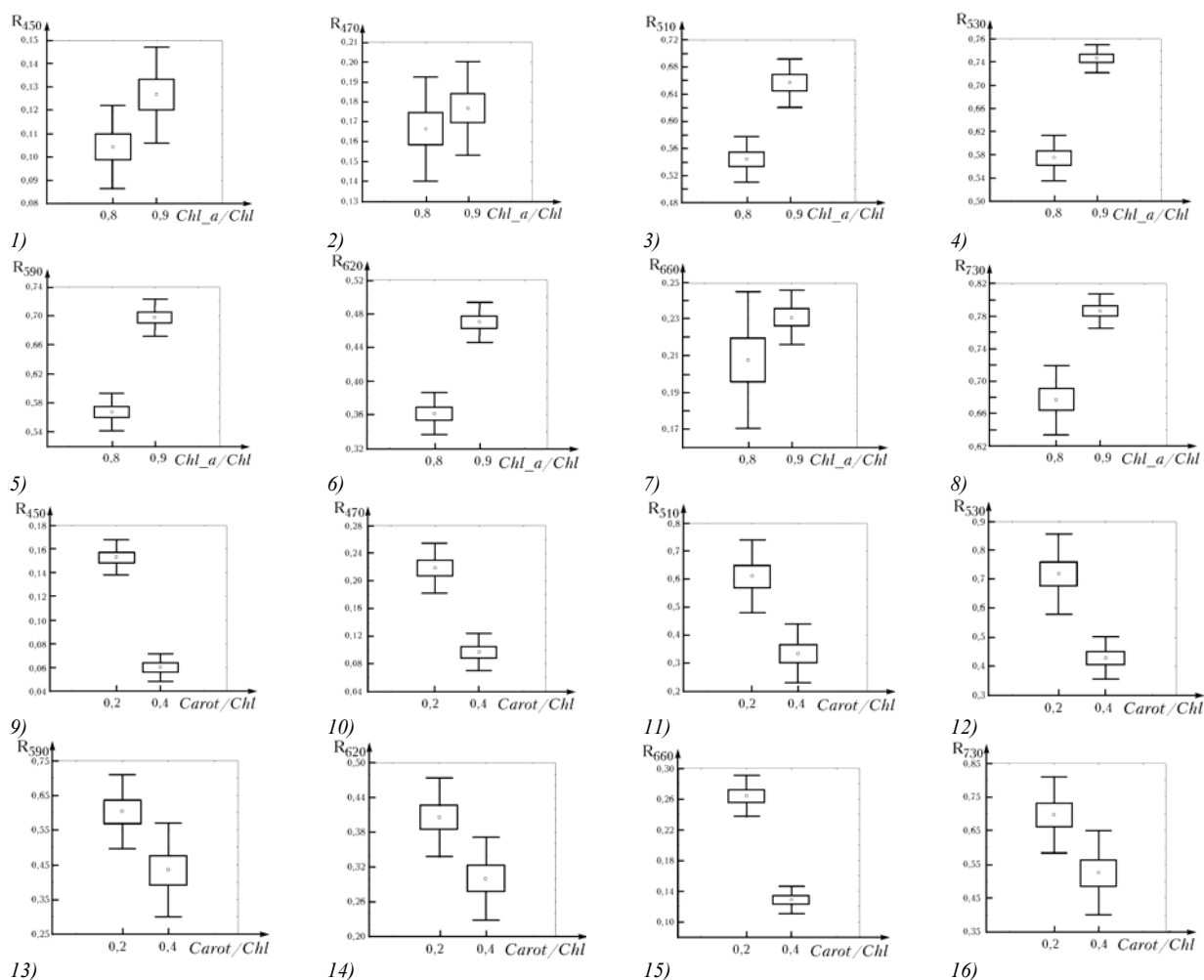


Рис. 2. Діаграми розмаху коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища при зміні співвідношення між хлорофілом а і загальним хлорофілом Chla/Chl (1–8) та каротиноїдами і загальним хлорофілом Carot/Chl (9–16)

Для прийняття рішення про стан об'єкту контролю за результатами мультиспектральних вимірювань у лабораторному макеті засобу мультиспектрального екологічного контролю здійснюється

вимірювання на довжинах хвиль, що відповідають характеристикам джерела випромінювання. Отримані при цьому діаграми розмаху коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища при зміні пігментних параметрів фітопланктону на цих довжинах хвиль наведено на рис. 2.

Розглянемо прийняття рішення про стан об'єкту контролю на довжині хвилі 510 нм. При цьому закон розподілу вимірюваної величини, тобто коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища при зміні співвідношення між хлорофілом а і загальним хлорофілом фітопланктону від 0,8 до 0,9 відповідає нормальному закону розподілу.

При використанні у засобі контролю ПЗЗ камери інструментальна складова похибки мультиспектральних вимірювань визначається двома складовими похибки, а саме похибкою, зумовленою наявністю шумів та випадкових завад у ПЗЗ камері та похибкою квантування пов'язаною з аналого-цифровим перетворенням. Функції щільності розподілу ймовірності похибок зумовлених наявністю шумів та випадкових завад у ПЗЗ камері та похибки квантування при використанні камери типу MDC140BW [5] на основі фотоматриці Sony ICX285AL проаналізовані у роботі [6].

Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного контролю пігментних параметрів фітопланктону у водному середовищі

Проаналізуємо достовірність контролю пігментних параметрів фітопланктону у водному середовищі за допомогою мультиспектрального методу. У результаті контролю пігментних параметрів фітопланктону на довжині хвилі 510 нм необхідно визначити чи перевищує вимірне значення коефіцієнту дифузного відбиття порогове значення, тобто $R_p = 0,604$, щоб розрізнити зразки з співвідношення між хлорофілом а і загальним хлорофілом 0,8 та 0,9. Порівняння результатів контролю та дійсного значення при опрацюванні результатів мультиспектральних вимірювань проводилось за методикою описаною у роботі [6]. При зміні порогового значення коефіцієнту дифузного відбиття ймовірність помилки першого та другого роду, а також достовірності контролю змінюється таким чином (див. рис. 3).

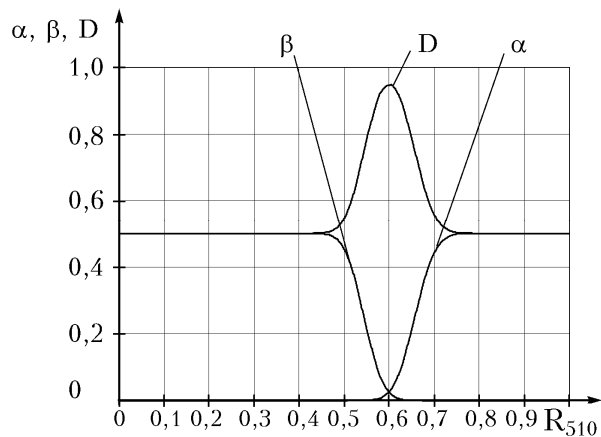


Рис. 3. Залежність помилок першого та другого роду та достовірності контролю співвідношення між хлорофілом а і загальним хлорофілом фітопланктону мультиспектральним методом

У табл. 1 наведено результати розрахунку помилок першого та другого роду та достовірності контролю пігментних параметрів фітопланктону мультиспектральним методом для інших спектральних каналів.

Таблиця 1

Результати розрахунку помилок першого та другого роду та достовірності контролю пігментних параметрів

Довжина хвилі, нм	R_1	R_2	α_i	β_i	D_i
Зміна співвідношення між хлорофілом а і загальним хлорофілом					
450	0,104370±0,017873	0,126655±0,020524	0,16	0,12	0,72
470	0,166366±0,026141	0,176787±0,023573	0,138	0,279	0,582
510	0,544284±0,033573	0,657209±0,035814	0,028	0,023	0,949
530	0,574745±0,039096	0,746518±0,023698	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,997
590	0,567362±0,025644	0,697673±0,025153	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-3}$	0,995
620	0,361308±0,024896	0,470147±0,024491	$5,35 \cdot 10^{-3}$	$7,55 \cdot 10^{-3}$	0,987
660	0,207780±0,037154	0,231058±0,014849	0,037	0,243	0,72
730	0,677084±0,042336	0,786341±0,020961	0,017	0,024	0,959
Зміна співвідношення між каротиноїдами і загальним хлорофілом					
450	0,153039±0,015293	0,059885±0,011417	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	0,9997
470	0,218642±0,035898	0,097021±0,026919	0,014	0,012	0,974
510	0,611659±0,129234	0,334817±0,106452	0,063	0,058	0,88
530	0,719055±0,137789	0,429759±0,073175	0,052	0,026	0,922
590	0,603915±0,107821	0,435920±0,134695	0,084	0,153	0,764
620	0,405982±0,067827	0,299850±0,072270	0,102	0,118	0,781
660	0,264222±0,026946	0,128925±0,018270	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	0,9987
730	0,696641±0,112632	0,525412±0,124805	0,097	0,137	0,766

При багатопараметричному мультиспектральному контролі пігментних параметрів фітопланктону достовірність буде визначатись добутком достовірностей обраних спектральних каналів. При використанні у засобі мультиспектрального екологічного контролю чотирьох каналів з довжинами хвиль 530, 590, 620 та 730 нм отримано значення достовірності багатопараметричного контролю співвідношення між хлорофілом а і загальним хлорофілом 0,939. При використанні у засобі мультиспектрального екологічного контролю трьох каналів з довжинами хвиль 450, 470 та 660 нм отримано значення достовірності багатопараметричного контролю співвідношення між каротиноїдами і загальним хлорофілом 0,972.

Висновки

При зміні пігментних параметрів фітопланктону у ході математичного моделювання отримано діаграми розмаху коефіцієнту дифузного відбиття на робочих довжинах хвиль спектральних каналів засобу контролю. Враховуючи вплив похибок на вимірювану величину, а саме коефіцієнту дифузного відбиття на робочих довжинах хвиль, оцінено помилки першого і другого роду, а також достовірність контролю у кожному із спектральних каналів. Для того, щоб отримати прийнятне значення достовірності контролю необхідно обрати такі спектральні канали, при використанні яких загальна достовірність не буде менша необхідного значення. Зокрема, при використанні чотирьох спектральних каналів (530, 590, 620, 730 нм) отримане значення достовірності контролю співвідношення між хлорофілом а і загальним хлорофілом склало 0,939, а при використанні трьох спектральних каналів (450, 470, 660 нм) отримано значення достовірності контролю співвідношення між каротиноїдами і загальним хлорофілом склало 0,972.

Література

1. Кватернюк С. М. Метод та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ / С. М. Кватернюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 1. – С. 15–22
2. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities. – L 327, 22.12.2000. – 72 p.
3. Кватернюк С.М. Математичне моделювання переносу випромінювання у багатошарових неоднорідних біологічних середовищах для задач мультиспектрального вимірювального контролю та діагностики / С.М. Кватернюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2016. – № 2(32). – С. 57–63.
4. Математичне моделювання впливу параметрів окремих шарів на спектральні характеристики неоднорідних біотканин / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк, В. В. Гончарук, О. І. Моканюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 3. – С. 50–56.
5. ScopeTek Product Manual. – SCOPETEK. – 2015. – 116 p.
6. Кватернюк С.М. Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного контролю біомаси фітопланктону у водних середовищах / С.М. Кватернюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2018. – № 3. – С. 275–278.

References

1. Kvaterniuk S. M. Metod ta zasoby multyspektralnogo televiziynogo vymiryvalnogo kontrolyu stanu neodnorodnykh biologichnykh sere dovyskh / S. M. Kvaterniuk // Visnyk Vinnyczkogo politehnicznogo instytutu. – 2017. – №1. – P. 15–22.
2. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities. – L 327, 22.12.2000. – 72 p.
3. Kvaterniuk S. M. Matematychnе modeliuвання perenosu vyprominiuvannya u bahatosharovykh neodnorodnykh biologichnykh sere dovyskhchakh dlia zadach multyspektralnoho vymiryvalnogo kontroliu ta diahnostryky / S. M. Kvaterniuk // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2016. – №2(32). – P. 57–63.
4. Kvaterniuk S. M. Matematychnе modeliuвання vplyvu parametriv okremykh shariv na spektralni kharakterystyky neodnorodnykh biotkany / V. G. Petruk, S. M. Kvaterniuk, O. Ye. Kvaterniuk et al. // Visnyk Vinnyczkogo politehnicznogo instytutu. – 2015. – №3. – P. 50–56.
5. ScopeTek Product Manual. – SCOPETEK. – 2015. – 116p.
6. Kvaterniuk S. M. Ocinyuvannya dostovirnosti multyspektralnogo ekolohichnogo kontrolju biomasy fitoplanktonu u vodnykh sere dovyskhchakh / S. M. Kvaterniuk // Herald of Khmelnytskyi National University. Serija: Tekhnichni nauky. – 2018. – №3. – P. 275–278.

Рецензія/Peer review : 20.9.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.9.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кучерук В.Ю.