

УДК 681.785; 681.518.5; 504.064.3

С.М. КВАТЕРНЮК

АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ЗАСОБІВ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ НЕОДНОРІДНИХ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21010, Україна,
тел.: +380 (432) 59-84-43, E-mail: serg.kvaternuk@gmail.com*

Анотація. У роботі проаналізовано варіанти реалізації структурних схем засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ. Запропоновано модель для оцінювання похибок опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за мультиспектральними параметрами.

Ключові слова: мультиспектральний контроль, засіб контролю, телевізійний вимірювальний контроль, неоднорідне середовище, математичне моделювання.

Аннотация. В работе проанализированы варианты реализации структурных схем средств мультиспектрального телевизионного измерительного контроля параметров и диагностирования состояния неоднородных биологических сред. Предложена модель для оценки погрешностей косвенного измерения биофизических и структурных параметров неоднородных биологических сред по мультиспектральным параметрам.

Ключевые слова: мультиспектральный контроль, средство измерения, телевизионный измерительный контроль, неоднородная среда, математическое моделирование.

Abstract. In this paper, we analyzed the implementation of the structural diagrams of the multispectral television measurement control parameters and the diagnosis of the state of heterogeneous biological media. A model is proposed for estimating the errors of indirect measurement of biophysical and structural parameters of inhomogeneous biological media by multispectral parameters.

Key words: multispectral control, measuring instrument, television measurement control, heterogeneous environment, mathematical modeling.

ВСТУП

Для прикладних задач екологічного моніторингу, біомедичної діагностики та контролю якості продукції розроблено метод та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю та діагностування [1-10]. Суть методу мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю та діагностування полягає у аналізі цифрових зображень досліджуваного об'єкту, отриманих у декількох спектральних діапазонах. Умовно спектральні телевізійні вимірювання поділяють на односпектральні (панхроматичні, кількість каналів $N=1$, спектральна роздільна здатність каналів за умови поділу спектрального діапазону на спектральні канали рівної ширини, які не перекриваються між собою $CP < 2300$ нм), мультиспектральні (кількість каналів $2 \leq N \leq 99$, спектральна роздільна здатність каналів $23 \text{ нм} \leq CP \leq 1150 \text{ нм}$), гіперспектральні (кількість каналів $100 \leq N \leq 999$, спектральна роздільна здатність каналів $2,3 \leq CP \leq 23$), та ультра спектральні (кількість каналів $N > 1000$, спектральна роздільна здатність каналів $0,1 \leq CP \leq 2,3$) [11]. Після обробки отриманого масиву мультиспектральних зображень необхідно опосередковано виміряти структурні та біофізичні параметри неоднорідних біологічних середовищ у

кожному пікселі зображення. Це здійснюється на основі розв'язання оберненої оптичної задачі [12] з урахуванням математичної моделі відповідних неоднорідних біологічних середовищ [13].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою роботи є аналіз варіантів реалізації структурних схем засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ при опосередкованому вимірюванні їх біофізичних та структурних параметрів.

Неоднорідні біологічні середовища для усіх задач екологічного моніторингу, біомедичної діагностики та контролю якості продукції можна звести до наступних фізичних моделей:

- напівнескінчене макроскопічно однорідне біологічне середовище (ННМОБС);
- тонкий шар макроскопічно однорідного біологічного середовища (ШМОБС);
- багат шарове неоднорідне біологічне середовище (БШНБС).

Кожен із шарів багат шарового неоднорідного біологічного середовища (БШНБС) вважається тонким макроскопічно однорідним шаром. Проведемо аналіз варіантів реалізації структурних схем засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю та діагностування для різних випадків їх застосування та проаналізуємо загальну схему, що дозволяє оцінити похибки опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за мультиспектральними параметрами, а, відповідно, і достовірність вимірювального контролю.

ВАРІАНТИ РЕАЛІЗАЦІЇ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ЗАСОБІВ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ

Модель напівнескінченого макроскопічно однорідного біологічного середовища зручно використовувати для водних середовищ з розсіювальними частинками різного походження, форми та розмірів. Потреба в цій моделі може виникати при екологічному моніторингу водних об'єктів з використанням біоіндикації по фітопланктону в умовах *in situ*, контролі якості молокопродуктів тощо.

Схема мультиспектрального телевізійного контролю біофізичних і структурних параметрів напівнескінченого макроскопічно однорідного біологічного середовища з розсіювальними частинками наведена на рис.1. Освітлення об'єкта контролю здійснюється рівномірно кільцевим дифузним освітлювачем 1, що випромінює у діапазоні довжин хвиль, який повністю перекриває всі спектральні канали мультиспектральних зображень. Мультиспектральні зображення поверхні об'єкта дослідження формуються за допомогою ПЗЗ-камери 2, об'єктиву 3 та перестроюваного фільтра 4. Блок керування та обробки зображень 5 створює сигнали керування для дифузного освітлювача 1 та для перестроюваного фільтра 4, які забезпечують формування випромінювання у кожному із спектральних каналів. Також на блок керування та обробки зображень 5 надходять для подальшої обробки сформовані мультиспектральні зображення з ПЗЗ-камери 2.

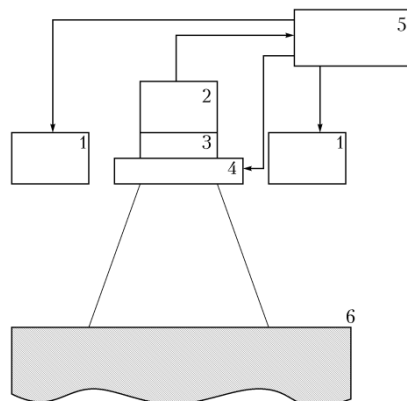


Рис. 1. Схема мультиспектрального телевізійного контролю біофізичних і структурних параметрів напівнескінченого макроскопічно однорідного біологічного середовища з розсіювальними частинками

Мультиспектральний телевізійний контроль біофізичних і структурних параметрів шару макроскопічно однорідного біологічного середовища з розсіювальними частинками може здійснюватись за двома схемами (див. рис. 2.).

Модель тонкого шару макроскопічно однорідного біологічного середовища може використовуватись при екологічному моніторингу водних об'єктів з використанням біоіндикації по фітопланктону в умовах *in vitro*, біомедичній діагностиці гуморальних середовищ в умовах *in vitro*,

контролі якості дисперсних рідин у проточних кюветах тощо. На рис.2,а схема мультиспектрального телевізійного контролю біофізичних і структурних параметрів доповнена дифузним відбивачем 7. На рис.2,б показана схема, у якій на камеру 2 потрапляє світловий потік, який пройшов через шар макроскопічно однорідного біологічного середовища.

Модель багат шарового неоднорідного біологічного середовища є найбільш універсальною і може використовуватись для багатьох задач, зокрема екологічному моніторингу водних об'єктів з використанням біоіндикації по фітопланктону в умовах *in situ*, екологічному моніторингу водних об'єктів з використанням біоіндикації по макрофітам в умовах *in situ* та *in vitro*, неінвазивній біомедичній діагностиці нормальних і патологічних тканин шкіри людини в умовах *in vivo* та *in vitro*, біомедичній діагностиці різних гуморальних рідин, контролі якості різноманітних харчових продуктів тощо. На рис.3,а наведена схема мультиспектрального телевізійного контролю біофізичних і структурних параметрів багат шарового неоднорідного біологічного середовища виконана аналогічно рис.1. При цьому вносить свій вклад кожен із шарів у мультиспектральні параметри.

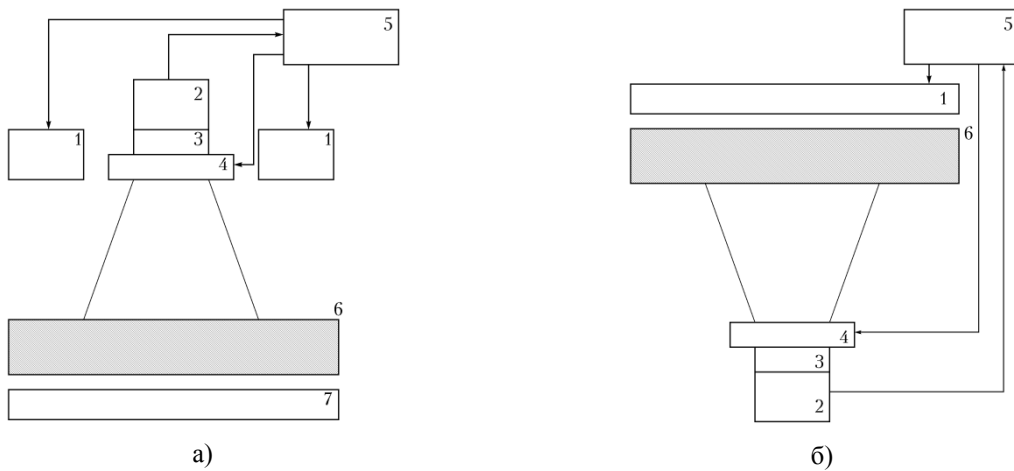


Рис. 2. Схеми мультиспектрального телевізійного контролю біофізичних і структурних параметрів шару макроскопічно однорідного біологічного середовища з розсіювальними частинками

На рис.3,б схема мультиспектрального телевізійного контролю біофізичних і структурних параметрів багат шарового неоднорідного біологічного середовища працює у глибинному режимі. Камера знаходиться всередині середовища і фіксує мультиспектральні зображення, що створюються оптичним випромінюванням у кожному з шарів. При цьому камера 2 може обертатись у трьох ступенях свободи, що дозволить фіксувати, як висхідне так і низхідне розсіяне випромінювання.

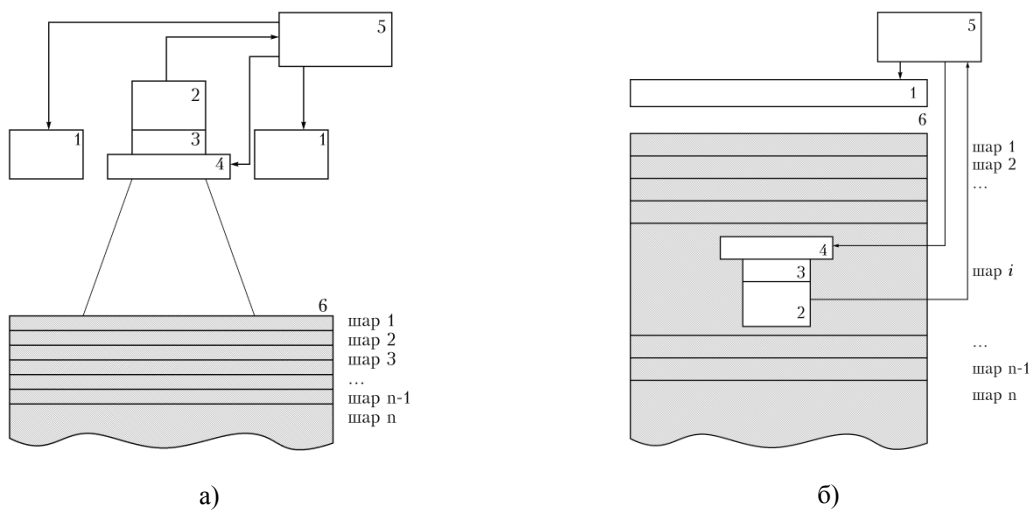


Рис. 3. Схеми мультиспектрального телевізійного контролю біофізичних і структурних параметрів модель багат шарового неоднорідного біологічного середовища

При дослідженні багат шарових неоднорідних біологічних середовищ ставлять задачі розрахунку впливу зміни біофізичних і структурних параметрів одного із шарів на мультиспектральні параметри (МСП) таких можливих умов

- а) параметри інших шарів відомі і незмінні ($f_i = \text{const}$);
- б) параметри інших шарів змінюються за нормальним законом розподілу, причому відомо їх середньоарифметичне значення і середньоквадратичне відхилення ($f_i = M \pm \text{СКВ}$).

Після опосередкованого вимірювання необхідних біофізичних і структурних параметрів багат шарового неоднорідного біологічного середовища для задач вимірювального контролю необхідно визначити достовірність контролю параметрів i -того шару враховуючи похибку вимірювань мультиспектральних параметрів і зміну інших параметрів багат шарового неоднорідного біологічного середовища за нормальним законом.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПОСЕРЕДКОВАНОГО ВИМІРЮВАННЯ БІОФІЗИЧНИХ ТА СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕОДНОРІДНИХ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

Загальна схема математичної моделі для прямої задачі розрахунку мультиспектральних параметрів у моделі неоднорідного біологічного середовища з відомими біофізичними і структурними параметрами наведена на рис. 4. Тобто вихідними даними для розрахунку є наступні параметри кожного із шарів неоднорідного біологічного середовища, а саме геометричні розміри розсіювальних частинок d (середній діаметр частинок фітопланктону у водних середовищах, середній діаметр судин та капілярів, усереднені розміри еритроцитів у крові чи жирових частинок у молокопродуктах), концентрація розсіювальних частинок у об'ємі середовища C_{pat} , концентрація хромофорів локалізованих у розсіювальних частинках C_{chr_i} та концентрація розчинених речовин, які розподілені рівномірно у об'ємі середовища C_{sol_j} . Спектральні характеристики хромофорів та розчинених речовин вводяться у математичну модель за довідниковими даними з використанням сплайн апроксимації. На основі цих даних за методиками наведеними у роботах [13-15] розраховуємо оптичні характеристики кожного із шарів неоднорідного біологічного середовища та загальні оптичні характеристики для коефіцієнту дифузного відбивання $R(\lambda)$ чи направленого пропускання $T(\lambda)$ з урахуванням впливу усіх шарів. На основі отриманого коефіцієнту дифузного відбивання чи направленого пропускання з урахуванням спектральних характеристик камери $E(\lambda)$, фільтрів $T_f(\lambda)$ та джерела випромінювання $\Phi(\lambda)$ за отримуємо мультиспектральні параметри $D(M_1, M_2, \dots, M_n)$ у кожному пікселі мультиспектрального зображення [1].



Рис. 4. Загальна схема математичної моделі для прямої задачі розрахунку мультиспектральних параметрів у моделі неоднорідного біологічного середовища з відомими біофізичними і структурними параметрами

Загальна схема математичної моделі відновлення біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за мультиспектральними параметрами наведена на рис. 5. За умови відомих біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за схемою 4 розраховуємо мультиспектральні параметри у кожному пікселі зображення, тобто розв'язуємо пряму

оптичну задачу. Далі з використанням регресійних рівнянь, що пов'язують біофізичні і структурні параметри неоднорідних біологічних середовищ та мультиспектральні параметри [12] здійснюємо відновлення необхідних біофізичних чи структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ, тобто розв'язуємо обернену оптичну задачу. При вимірюванні мультиспектральних параметрів неоднорідних біологічних середовищ ця процедура відповідає опосередкованому вимірюванню біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ. При використанні конкретних ПЗЗ-камер, фільтрів, джерел випромінювання тощо можна оцінити похибки вимірювання мультиспектральних параметрів на основі технічних параметрів цих комплектуючих. Отримані похибки необхідно ввести у математичну модель опосередкованого вимірювання. Знаючи біофізичні і структурні параметри неоднорідних біологічних середовищ, які використовувались, як вихідні дані на початку та порівнявши їх з біофізичними і структурними параметрами отриманими після відновлення за регресійними моделями можливо оцінити похибки опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ. Провівши багатократне імітаційне моделювання похибок опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ та отримавши закони їх розподілу можливо оцінити достовірність контролю параметрів неоднорідних біологічних середовищ.



Рис. 5. Загальна схема математичної моделі опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за мультиспектральними параметрами

ВИСНОВКИ

Проаналізовано варіанти реалізації структурних схем засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ, що можуть використовуватись для задач екологічного моніторингу водних об'єктів з використанням біоіндикації по фітопланктону та макрофітам в умовах *in situ* та *in vitro*, біомедичної діагностики гуморальних середовищ в умовах *in vitro*, неінвазивної біомедичної діагностики нормальних і патологічних тканин шкіри людини в умовах *in vivo* та *in vitro*, контролю якості харчових продуктів. Запропоновано загальну схему математичної моделі опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за мультиспектральними параметрами, що дозволяє оцінити похибок вимірювань. Провівши багатократне імітаційне моделювання похибок опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ можливо отримавши закони їх розподілу та оцінити достовірність контролю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Methods and means of measuring control and diagnostics of biological tissues *in vivo* based on measurements of color coordinates and multispectral image / V. Petruk, O. Kvaternyuk, S. Kvaternyuk [et al.] // Proc. SPIE, 2015. Vol. 9816, 98161H (17 December 2015). – P. 98161H-1– 98161H-5; doi:10.1117/12.2229034.
2. The method of multispectral image processing of phytoplankton processing for environmental

- control of water pollution / V. Petruk, S. Kvaternyuk, V. Yasynska [et al.] // Proc. SPIE, 2015. Vol. 9816, 98161N (17 December 2015). – P. 98161N-1–98161N-5; doi: 10.1117/12.2229202.
3. Multispectral television measuring control of the ecological state of waterbodies on the characteristics macrophytes / V. Petruk, S. Kvaternyuk, A. Kozachuk [et al.] // Proc. SPIE, 2015. Vol. 9816, 98161Q (17 December 2015). – P. 98161Q-1–98161Q-4; doi: 10.1117/12.2229343.
 4. Мультиспектральний телевізійний вимірювальний контроль екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, А. О. Слободянюк, Я. І. Безусяк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2015. – № 1(29). – С. 145–149.
 5. Multispectral television monitoring of contamination of water objects by using macrophyte-based bioindication / R. V. Petruk, V. D. Pohrebennyk, S. M. Kvaternyuk [et al.] // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, SGEM2016 Conference Proceedings, June 28 – July 6, 2016, Book 5, Vol. 2. – P. 597–602.
 6. Martsenyuk V. Multispectral control of water bodies for biological diversity with the index of phytoplankton / V. Martsenyuk, V. G. Petruk, S. M. Kvaternyuk [et al.] // 2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2016), Oct. 16-19, 2016 in HICO, Gyeongju, Korea. – P. 988–993. doi: 10.1109/ICCAS.2016.7832429.
 7. Спосіб мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону / Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Кватернюк О.Є., Петрук Р.В. // Патент України №99580 МПК G01N 21/21 (2006.01)/ заявл. 05.01.2015; опубл. 10.06.2015; Бюл. № 11. – 5 с.
 8. Petruk V. Experimental studies of phytoplankton concentrations in water bodies by using of multispectral images / Petruk V., Kvaternyuk S., Pohrebennyk V. [et al.] // Water Supply and Wastewater Removal. Editors: Henryk Sobczuk, Beata Kowalska. – Lublin : Lublin University of Technology, 2016. – 229 p.
 9. Petruk V. Multispectral Methods and Means of Water Pollution Monitoring by Using Macrophytes for Bioindication/ V. Petruk, S. Kvaternyuk, O. Bondarchuk [et al.] // Water Security. Editors: O. Mitryasova, C. Staddon. – Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2016. – 308 p.
 10. Мультиспектральний вимірювальний контроль та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ на основі нечіткої логіки / Г.О. Черноволик, В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 147 с.
 11. Гиперспектральная диагностика современной техносферы В.К.Шухостанов, Л.А. Ведешин, А.Г. Цыбанов // Пятая юбилейная открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» : Сборник тезисов конференции, 12-16 ноября 2007 р. – Москва: ИКИ РАН, 2007. – С. 243-248.
 12. 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.
 13. 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.
 14. Моделювання спектральних характеристик шару епідермісу біотканини шкіри як об'єкту біомедицинської діагностики / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, Ю. С. Любчик, С. М. Кватернюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 218–222.
 15. Математичне моделювання впливу параметрів окремих шарів на спектральні характеристики неоднорідних біотканин / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк [та ін.] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 3. – С. 50–56.

REFERENCES

1. Methods and means of measuring control and diagnostics of biological tissues in vivo based on measurements of color coordinates and multispectral image / V. Petruk, O. Kvaternyuk, S. Kvaternyuk [et al.] // Proc. SPIE, 2015. Vol. 9816, 98161H (17 December 2015). - P. 98161H-

- 1 98161H-5; doi: 10.1117 / 12.2229034.
2. The method of multispectral image processing of phytoplankton processing for environmental control of water pollution / V. Petruk, S. Kvaternyuk, V. Yasynska [et al.] // Proc. SPIE, 2015. Vol. 9816, 98161N (17 December 2015). - P. 98161N-1-98161N-5; doi: 10.1117 / 12.2229202.
3. Multispectral television measuring control of the ecological state of waterbodies on the characteristics macrophytes / V. Petruk, S. Kvaternyuk, A. Kozachuk [et al.] // Proc. SPIE, 2015. Vol. 9816, 98161Q (17 December 2015). - P. 98161Q-1-98161Q-4 ;. doi: 10.1117 / 12.2229343.
4. Multyspektralniy televiziyniy vimiryuvalniy kontrol ekolohichnoho stanu vodnykh ob'ektiv za parametry fitoplanktonu / V. H. Petruk, S. M. Kvaternyuk, A. O. Slobodyanyuk, YA. I. Bezusyak // Optyko-elektronni informatsiyno-enerhetychni tekhnolohiyi. - 2015. - № 1 (29). - S. 145-149.
5. Multispectral television monitoring of contamination of water objects by using macrophyte-based bioindication / RV Petruk, VD Pohrebennyk, S. M. Kvaternyuk [et al.] // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, SGEM2016 Conference Proceedings, June 28 - July 6, 2016, Book 5, Vol. 2. - P. 597-602.
6. Martsenyuk V. Multispectral control of water bodies for biological diversity with the index of phytoplankton / V. Martsenyuk, VG Petruk, SM Kvaternyuk [et al.] // 2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2016), Oct. 16-19, 2016 in HICO, Gyeongju, Korea. - P. 988-993. doi: 10.1109 / ICCAS.2016.7832429.
7. Sposob multyspektralnogo televiziynogo vymiryuvalnoho kontrolyu ekolohichnoho stanu vodnykh ob'ektiv za parametry fitoplanktonu / Petruk V.H., Kvaternyuk S.M., Kvaternyuk O.YE., Petruk R.V. // Patent Ukrayiny №99580 MPK G01N 21/21 (2006.01) / zayavl. 05.01.2015; opubl. 10.06.2015; Byul. № 11. - 5 s.
8. Petruk V. Experimental studies of phytoplankton concentrations in water bodies by using of multispectral images / Petruk V., Kvaternyuk S., Pohrebennyk V. [et al.] // Water Supply and Wastewater Removal. Editors: Henryk Sobczuk, Beata Kowalska. - Lublin: Lublin University of Technology, 2016. - 229 p.
9. Petruk V. Multispectral Methods and Means of Water Pollution Monitoring by Using Macrophytes for Bioindication / V. Petruk, S. Kvaternyuk, O. Bondarchuk [et al.] // Water Security. Editors: O. Mitryasova, C. Staddon. - Mykolaiv: PMBSNU - Bristol: UWE, 2016. - 308 p.
10. Multyspektralniy vimiryuvalniy kontrol ta diahnostuvannya stanu neodnorodnikh biolohichnykh seredovishcha na osnove nechitkoyi lohiky / H.O. Chernovolik, V. H. Petruk, S. M. Kvaternyuk. - Vinnytsya: VNTU, 2015. - 147 s.
11. Hiperspektralnaya diahnostyka suchasnoyi tekhnosfery V.K.Shukhostanov, L.A. Vedeshin, A.H. Tsyban' // P'yata yuvileyna vidkryta Vserosiyskaya konferentsiya «Suchasni problemy dystantsiynogo zonduvannya Zemli z kosmosu»: Zbirnyk tez konferentsiyi, 12-16 lystopada 2007 r. - Moskva: IKD RAN, 2007. - S. 243-248.
12. Kvaternyuk S. M. Metod ta zasoby multyspektralnogo televiziynogo vymiryuvalnoho kontrolyu stanu neodnorodnikh biolohichnykh seredovishche / S. M. Kvaternyuk // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. - 2017. - № 1. - S. 15-22.
13. Kvaternyuk S.M. Matematychno modelyuvannya perenosu vprominyuvannya u bahatosharovikh neodnorodnikh biolohichnykh seredovishche dlya zadach multyspektralnogo vymiryuvalnoho kontrolyu ta diahnostyky / S.M. Kvaternyuk // Optyko-elektronni informatsiyno-enerhetychni tekhnolohiyi. - 2016. - № 2 (32). - S. 57-63.
14. Modelyuvannya spektralnykh kharakterystyk kuli epidermisu biotkanini kozhy yak ob'ektu biomedichnoyi diahnostyky / V. H. Petruk, O. YE. Kvaternyuk, YU. S. Lyubchyk, S. M. Kvaternyuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky. - 2015. - № 2. - S. 218-222.
15. Matematychno modelyuvannya vplivu parametriv okremykh shariv na spektralni kharakterystyky neodnorodnikh biotkanin / V. H. Petruk, S. M. Kvaternyuk, O. YE. Kvaternyuk [ta in.] // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. - 2015. - № 3. - S. 50-56.

Надійшла до редакції 17.06.2017 р.

КВАТЕРНЮК С. М. – к.т.н., доцент кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.